MEDDELELSE

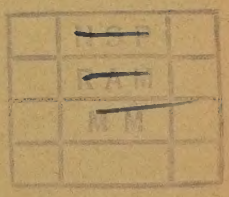
FRA

DET NORSKE SKOGFORSØKSVESEN

NR. 55
(BIND XVI HEFTE 3)

Reports of
The Norwegian Forest Research Institute

VOLLEBEKK 1960



DET NORSKE SKOGFORSØKSVESEN, VOLLEBEKK, NORGE

Ø. MØLBACH-PETERSEN

Studier i skogbrukets transportøkonomi

Studies in the economics of timber transportations

VOLLEBEKK 1960

Innhold

Forord 161
I. Innledning 163
II. Transportomkostninger — transportomkostningsfunksjoner 164
1. Omkostningsteori 164
2. Omkostningsfunksjoner 167
a. Direkte transportomkostninger 167
b. Indirekte transportomkostninger 169
III. Beregning av veiavstand 173
1. Utledning av grunnformel 173
2. Korreksjon av formelen 179
3. Diskusjon av formelen 190
IV. Anvendelse av formel og tabeller 195
1. Beregning av veiavstand ved hjelp av tabellene 195
2. Beregning av veiavstand ved grafisk fremstilling 196
V. Videre anvendelse av formel og tabeller 198
1. Sammenligning mellom lastebiltransport og traktortransport 198
a. Valg av transportbane og transportmiddel 198
b. Beregning av grensekvantum 199
c. Beregning av grenseveilengde 200
d. Beregning av grenseomkostning 200
2. Beregning av de samlede transportomkostninger for et større skogkompleks 201
3. Valg av transportretning og veiplasering i brattlendt terreng 205
VI. Veistandard 207
VII. Sammendrag 214
Litteratur 217
Studies in the economics of timber transportations 218

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/meddelelser-fra-det-norske-skogforsoksvesen_1960_16_3

Forord

Forstkandidat Øyvinn Mølbach-Petersen har arbeidet som stipendiat ved Det norske Skogforsøksvesen, Driftsteknisk Avdeling siden 1. oktober 1956. Formålet med hans stipendium var å arbeide med transportøkonomiske beregningsproblemer.

Nærværende arbeide fremlegges som et av resultatene fra hans virksomhet i stipendietiden, og omfatter studier i skogbrukets transportøkonomi. Arbeidet bygger på omfattende litteraturstudier men er ført videre ved selvstendige beregninger og kalkyler.

Skogforvalter Torgeir Fryjordet har lest gjennom arbeidet og har bidradd med verdifulle råd og vink. Den engelske oversettelse er utført av translatør fru Johanna Marie Ording. Vi vil takke for deres bistand i forbindelse med gjennomføringen av forsøksmeldingen.

Det norske Skogforsøksvesen i november 1959.

Ivar Samset

I. Innledning.

I 1866 ble det første tresliperi anlagt på Bjølsen og i 1874 den første sulfatcellulosefabrikk på Hafslund. Siden den tid har treforedlingsindustrien utviklet seg til å bli en av våre viktigste eksportnæringer og avtager av 3–4 millioner m^3 skogsvirke pr. år. Treforedlingsindustrien har igjen skapt de økonomiske forutsetninger for den utvikling av skogbruket som vi er midt oppe i.

Likesom treforedlingsindustrien skapte grunnlaget for rasjonell skjøtsel av gunstig beliggende skoger, kan man si at motoriseringen av fremdriften har muliggjort rasjonell drift og skjøtsel også av våre avsidesliggende skoger. Store skogområder som tidligere på grunn av de store driftsomkostninger ikke var drivverdige, er blitt gjenstand for regelmessig drift. Gjennom bygging av skogsveier for lastebiler og traktorer er nye provinser lagt til landet.

Den utstrakte motorisering av fremdriften har ført til at det i langt sterkere grad enn tidligere er nødvendig med sammenlignende kalkyler for å finne frem til de driftsmidler som er de gunstigste under de rådende forhold. Det er driftsøkonomiens oppgave å finne frem til den kombinasjon av driftsmidler som gir de lavest mulige driftsutgifter og dermed også de høyest mulig nettoinntekter pr. m^3 salgsvirke.

Den sterke utbyggingen av skogsveinettet og motoriseringen av virkestransportene har nødvendiggjort et grundig studium av de forhold som har betydning for transportenes økonomi. I det følgende vil en del momenter som har betydning for skogsveienes økonomi bli tatt opp til drøftelse.

II. Transportomkostninger – transportomkostningsfunksjoner.

1. Omkostningsteori.

Gjennom sine «Skogsekonomiska studier. Kalkylformer och kostnadstyper» ga MATTSSON MÅRN (1927) støtet til store fremskritt innen driftsøkonomien. Senere har den økonomiske side av skogbrukets transportproblemer blitt inngående utredet av DANELL (1939) MATTHEWS (1942), SUNDBERG (1949, 1953), LARSSON (1956), m.flere. Hos oss er transportproblemene viet spesiell oppmerksomhet av FRYJORDET (1955) og SAMSET (1956).

MATTSSON MÅRN OG LANGSÆTER (1948) inndeler skogbrukets omkostninger i to hovedgrupper, I, driftsutgifter og II, fellesomkostninger eller generalomkostninger. Driftsutgiftene deles i to undergrupper, A, direkte driftsutgifter og B, indirekte driftsutgifter.

De direkte omkostninger er omkostninger som i sin helhet medgår til fremstilling av et bestemt produkt (eller ved en bestemt avdeling i bedriften). (LANGSÆTER 1948, side 141 – 2).

SUNDBERG (1953) inndeler transportomkostningene på samme måte.

Når man skal foreta transportøkonomiske kalkyler, har man behov for en videre inndeling av omkostningene etter de forskjellige arbeidsoperasjoner. For de direkte omkostninger kan man tale om omkostningene ved underveistidene og ved terminaltidene. Sundberg kaller disse omkostninger «direkta undervägskostnader» og «direkta terminalkostnader». 1) Danell har gitt de tilsvarende omkostninger betegnelsen «hålltidskostnader» og «körtidskostnader».

For de indirekte transportomkostninger kan foretas den samme inndeling.

I mange tilfeller, f.eks. når man skal beregne transportomkostningene når man bruker egne transportmidler, er det nødvendig å skille mellom variable og faste omkostninger.

En variabel omkostning er en omkostning som øker og avtar ved økning og minskning i produktmengden og som blir lik null ved produksjonsstans. Arbeidslønn ved tømmerkjøring er eksempel på en variable omkostning.

[1]) Sundberg angir et denne terminologi er anvendt i en betenkning avgitt av «1942 års järnvägskostnadsutredning: Principer och metoder för kostnadsberäkningar vid Statens Järnvägar.» (S.O.U. 1949:5). «Terminalkostnader äro de kostnader som uppkomma vid järnvägens fullgörande av terminalprestationen, t.ex. magasinbehandling av fraktstyckegods; undervägskostnader äro de kostnader som uppkomma vid järnvägens fullgörande av undervägsprestationen och vilka på ett eller annat sätt äro beroende av transportsträckens egenskaper, längd e.d., t.ex. kostnad för drivmedel.»

En fast omkostning er en omkostning som ikke øker eller avtar ved økning eller minskning i produktmengden. Renter og avskrivninger er eksempler på faste omkostninger.

Det er hovedsummen for vedkommende omkostning som er brukt ved definisjonen av variable og faste omkostninger. Hvis man betrakter omkostningene pr. enhet for en proporsjonal variabel omkostning (omkostningene varierer proporsjonalt med produktmengden) – f.eks. hogstpris pr. m^3 – finner man at den er konstant mens omkostningene for en vei pr. m^3 transportert virke varierer med den transporterte virkesmengde.

Samset (1956) og Fryjordet (1955) har gitt eksempler på beregning av omkostningene for tømmertransport med hest og traktor. Samset har summert de faste og variable omkostninger og beregnet omkostningene pr. dagsverk og pr. minutt. Ved hjelp av resultatet av tidsstudiene finnes transportomkostningene pr. m^3 under de forutsetninger tidsstudiene gjelder for.

Fryjordet kaller omkostningene ved veitransport fremdriftsomkostninger og deler dem i transportomkostninger og veiomkostninger. Transportomkostningene defineres som de fremdriftsomkostninger som har sin årsak i transporten og veiomkostningene som den del av fremdriftsomkostningene som skyldes transportbanene. Fryjordet uttrykker de spesifikke transportomkostninger ved funksjonen $K = a + by$ hvor a er terminalomkostningene, b underveisomkostningene og y veilengden i km.

Samset har delt terminaltidene og underveistidene i mengdefaste og mengdevariable tider og periodefaste og periodevariable tider. Under forutsetning av at perioden er en driftssesong, kommer han frem til den samme funksjonstype for de direkte transportomkostninger som Fryjordet anvender.

Jørgensen har i sitt forelesningsnotat «Skogbrukets kostnadsteori» (1955) søkt å overføre til skogbruket den terminologi som er foreslått i Norsk Standard nr. 437 for industrielle omkostningsberegninger. For transportomkostningene (veiomkostningene ikke medregnet) anvender han funksjonen:

$T = a + b_1 x_1 + b_2 x_2$ der
T = totale omkostninger.
a = faste omkostninger.
x_1 = produktmengde.
x_2 = produktmengde × transportdistanse.
b_1 = omkostninger pr. m^3 som er uavhengig av transportdistansen.
b_2 = omkostninger pr. m^3 som varierer med transportdistansen.

Jørgensen anfører at man i regelen kan se bort fra *a* i kalkyler hvor man regner med tariffmessige omkostninger. I så fall vil funksjonen bli den samme som den Fryjordet og Samset anvender. Når man regner med transport med egne transportmidler, får imidlertid *a* betydning (bl.a. avskrivning og forrentning av transportmidlene).

Ved sammenligninger mellom transport med egne og leiede transportmidler av forskjellig slag er det uheldig at omkostningsfunksjonene ikke er av samme type. Ved mange transportøkonomiske beregninger er det videre nødvendig at omkostningsfunksjonen direkte viser hva de enkelte faser av en transportoperasjon koster.

I det følgende har jeg valgt å benytte Sundbergs terminologi. De samlede omkostninger ved fremdriften vil bli benevnt transportomkostninger. Transportomkostningene vil bli delt i direkte og indirekte transportomkostninger.

De direkte transportomkostninger er de omkostninger som direkte skriver seg fra transporten av et bestemt virkeskvantum. De indirekte transportomkostninger er de omkostninger som skyldes avskrivning, forrentning og vedlikehold av faste driftsmidler som veier, dammer, fløtningsrenner, permanente taubaner, laste- og losseinnretninger, velteplasser m.m. I dette arbeidet er det bare transporten frem til og på vei som som vil bli tatt opp til drøftelse. De indirekte transportomkostninger begrenses dermed til avskrivning, forrentning og vedlikehold av skogsveier.

De direkte transportomkostninger vil bli delt i direkte terminalomkostninger og direkte underveisomkostninger. Med direkte terminalomkostninger menes utgifter i forbindelse med virkets lasting og lossing. Med direkte underveisomkostninger menes de omkostninger som oppstår ved transporten av et virkeskvantum og som på en eller annen måte er avhengig av transportdistansen.

For de indirekte transportomkostninger kan foretas den samme inndeling. Indirekte terminalomkostninger er således omkostninger som vedkommer velteplasser og laste- og losseinnretninger. Indirekte underveisomkostninger er omkostninger som vedkommer selve transportbanene.

I tillegg til de direkte og indirekte transportomkostninger må transportene også bære en del av skogbrukets fellesomkostninger. Dette gjelder transportenes andel av omkostningene til forvaltning og arbeidsledelse og omkostningene til bygninger garasjer,, serviceanlegg m.m. som er nødvendige for transportene.

Foranstående kan sammenfattes i nedenstående oversikt:

I. Transportomkostninger.
A. Direkte transportomkostninger.
1. Direkte terminalomkostninger.
2. Direkte underveisomkostninger.
B. Indirekte transportomkostninger.
1. Indirekte terminalomkostninger.
2. Indirekte underveisomkostninger.

II. Skogbrukets fellesomkostninger (transportenes andel).
A. Forvaltning.
B. Bygninger, garasjer, serviceanlegg m.m.

2. Omkostningsfunksjoner.

a. Direkte transportomkostninger.

De direkte transportomkostninger kan som tidligere vist deles i to grupper – terminalomkostningene som er proporsjonale med volumet og uavhengig av transportdistansen, og underveisomkostningene som endres med transportdistansen.

De spesifikke, direkte transportomkostninger ved forskjellige transportdistanser kan altså uttrykkes ved ligningen:

$y = a + b \cdot L$ der
y = transportomkostninger i kr. pr. m^3.
a = terminalomkostning i kr. pr. m^3.
b = underveisomkostning i kr. pr. m^3 pr. km.
L = transportdistansen i km.

Grafisk fremstiller funksjonen en rett linje som skjærer y-aksen i en avstand = a fra 0-punktet.

Omkostningsfunksjonene kan bygges opp på to forskjellige måter, nemlig på grunnlag av de til enhver tid gjeldende akkordsatser eller på grunnlag av arbeidsstudier. Nedenstående eksempler på omkostningsfunksjoner for de direkte transportomkostningene er bygget opp på grunnlag av akkordsatsene.

For kjøring av barket tømmer med hest på veilengder over 300 m var grunnsatsene for 1957/58 følgende:

Lunning	kr. 4,55 pr. m^3
På- og avlessing	» 2,20 » »
Fremkjøring pr. km	» 2,45 » »

De tilsvarende omkostningsfunksjonene blir:

$$y = 6{,}75 + 2{,}45 \cdot L \text{ (inklusive lunning) og}$$
$$y = 2{,}20 + 2{,}45 \cdot L \text{ (eksklusive lunning)}$$

Tilsvarende enkle transportomkostningsfunksjoner kan ikke dannes for transport av tømmer med lastebil og traktor fordi grunnsatsene for fremkjøringen varierer trinnvis.

For lastebiltransport av tømmer inntil 30 km var satsene følgende:

	Rått virke	Tørt virke
Til og med 5 km	kr. 4,60 pr. m³	kr. 3,60 pr. m³
Fra 5 til 30 km. Tillegg pr. km.	» 0,28 » »	» 0,22 » »

For transport av rått tømmer blir omkostningsfunksjonene følgende :

For transport inntil 5 km:

$$y = 4{,}60$$

For transport fra 5 til 30 km:

$$y = 4{,}60 + 0{,}28 \cdot (L \div 5) = 3{,}20 + 0{,}28 \cdot L$$

For transport over 30 km avtales lønn mellom arbeidsgiver og kjører.

For traktortransport av tømmer var satsene følgende:

	Rått virke	Tørt virke
Inntil 2 km	kr. 6,00 pr. m³	kr. 5,35 pr. m³
Fra 2 til 4 km		
Tillegg pr. km	» 0,83 » »	» 0,73 » »
Fra 4 til 6 km		
Tillegg pr. km	» 0,68 » »	» 0,57 » »
Over 6 km		
Tillegg pr. km	» 0,52 » »	» 0,47 » »

De tilsvarende transportomkostningsfunksjoner for rått tømmer blir følgende:

For transport inntil 2 km:

$$y = 6{,}00$$

For transport fra 2 til 4 km:

$$y = 6{,}00 + 0{,}83 \cdot (L - 2) = 4{,}34 + 0{,}83 \cdot L$$

For transport fra 4 til 6 km:

$$y = 4{,}34 + 0{,}83 \cdot 4 + 0{,}68 \cdot (L - 4) = 4{,}94 + 0{,}68 \cdot L$$

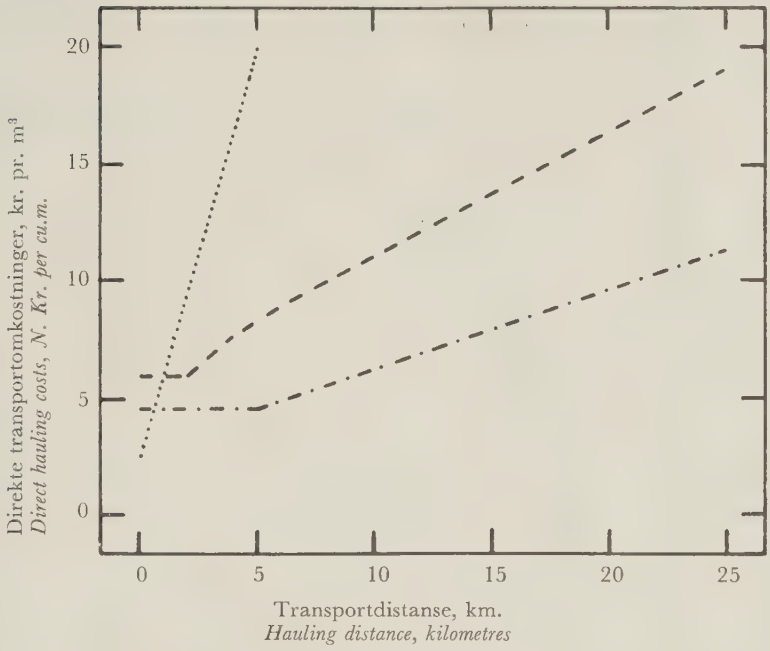


Fig. 1

Direkte transportomkostninger. *Direct hauling costs*
..... Hestetransport. *Horse hauling.*
– – – – – Traktortransport. *Tractor hauling.*
–·–·–·– Lastebiltransport. *Truck hauling.*

For transport over 6 km:

$$y = 4{,}94 + 0{,}68 \cdot 6 + 0{,}52 \cdot (L - 6) = 5{,}88 + 0{,}52 \cdot L$$

Omkostningsfunksjonene for heste, lastebil- og traktortransport er fremstilt grafisk i fig. 1. Fig. 1 gjelder bare de direkte transportomkostninger. Billedet vil endres når det transporterte virkeskvantum må bære veiutgiftene.

b. *Indirekte transportomkostninger.*

Omkostningene til varige driftsmidler kan vanligvis ikke utgiftsføres det år driftsmiddelet blir anlagt. Omkostningene må fordeles over det tidsrom man har nytte av driftsmiddelet. Slik fordeling av omkostningene kalles avskrivning. Ved avskrivningen foretas en formell desinvestering av den investerte kapital. En reell desinvestering av kapital bundet i et driftsmiddel kan imidlertid bare skje ved de økede inntekter man oppnår på grunn av investeringen. Det vil derfor i praksis ofte vise seg at et driftsmiddel reelt er desinvestert før det formelt er avskrevet. Ved interne

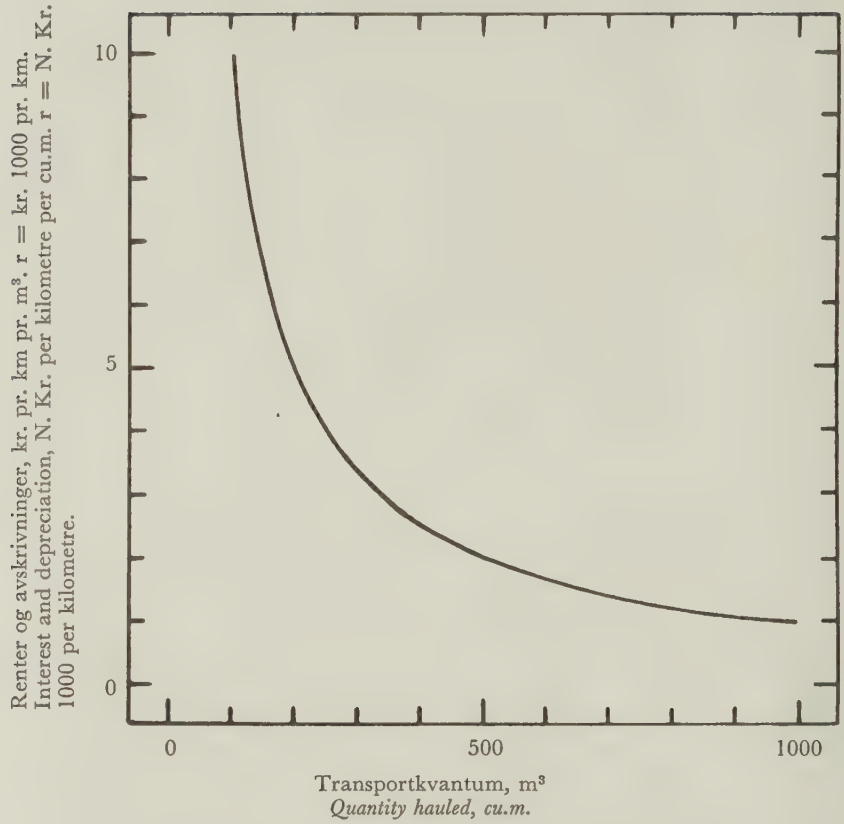


Fig. 2.

kalkyler som f.eks. ved beregning av lønnsomheten av et veianlegg bør man forlange at anlegget reelt skal være avskrevet på kortere tid enn man formelt har adgang til å avskrive det.

Ved interne kalkyler vil det være naturlig at avskrivningen av et veianlegg foretas slik at omkostningene til renter og avskrivning av anleggskapitalen utgjør et årlig konstant beløp, r, pr. km. Tabell 1 viser amortiseringsfaktoren for forskjellige avskrivningstider og for en rente på 3, 4 og 5% p.a.

Transportkvantumet varierer med størrelsen av det skogområde som sogner til veien, med arealets bonitetsfordeling, bestokningsforhold, m.m. Over et lengre tidsrom kan man dog si at det årlige transportkvantum er konstant og lik gjennomsnittet av de årlige avvirkninger. Kalles transportkvantumet Q, kan den gjennomsnittlige veiomkostning pr. km pr. m³ finnes av funksjonen $y = r \cdot \frac{1}{Q}$

Tabell 1.
Table 1.

Amortiseringsfaktor. *Factor of amortization.* $\frac{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n}{1{,}0p^n \div 1}$

År *Years* n	Rentefot *Rate of interest*		
	3	4	5
1	1,0300	1,0400	1,0500
2	0,5226	0,5302	0,5378
3	0,3535	0,3604	0,3672
4	0,2690	0,2755	0,2828
5	0,2184	0,2246	0,2310
6	0,1846	0,1908	0,1970
7	0,1605	0,1666	0,1728
8	0,1425	0,1485	0,1547
9	0,1284	0,1345	0,1407
10	0,1172	0,1239	0,1295
11	0,1080	0,1142	0,1204
12	0,1005	0,1066	0,1128
13	0,0940	0,1001	0,1065
14	0,0885	0,0947	0,1010
15	0,0837	0,0899	0,0963
16	0,0796	0,0858	0,0923
17	0,0760	0,0822	0,0887
18	0,0727	0,0790	0,0855
19	0,0698	0,0761	0,0827
20	0,0672	0,0736	0,0802
21	0,0649	0,0713	0,0780
22	0,0628	0,0692	0,0760
23	0,0608	0,0673	0,0741
24	0,0591	0,0656	0,0725
25	0,0574	0,0640	0,0710
30	0,0510	0,0578	0,0651
35	0,0465	0,0536	0,0611
40	0,0433	0,0505	0,0583
45	0,0408	0,0483	0,0563
50	0,0389	0,0466	0,0548
60	0,0361	0,0442	0,0528
70	0,0344	0,0427	0,0517
80	0,0331	0,0418	0,0510
90	0,0323	0,0412	0,0506
100	0,0317	0,0408	0,0504

Funksjonen er diskontinuerlig og fremstiller en likesidet hyperbel hvis asymptoter faller sammen med koordinatsystemets akser. Fig. 2 viser den grafiske fremstilling av funksjonen for r = kr. 1000,— pr. km.

De indirekte transportomkostninger omfatter også vedlikeholdsomkostningene. Vedlikeholdsomkostningene er atskillig mer sammensatt enn avskrivnings- og renteomkostningene.

Man kan skjelne mellom sommer- og vintervedlikehold.

Det er uten videre klart at vintervedlikeholdet (snøbrøyting medregnet) varierer med klimaet de forskjellige vintre.

Sommervedlikeholdet kan man tenke seg delt i en del som skyldes klimaet og en del som skyldes transportene. Sommervedlikeholdet skulle altså bestå av en mer eller mindre fast omkostning og en mer eller mindre variabel omkostning.

Teoretisk burde den variable andelen eller slitasjeandelen av vedlikeholdsomkostningene fordeles på samme måte som de direkte underveisomkostninger, dvs. som et visst beløp pr. m³ pr. km (vedlikeholdsomkostningene dividert med transportmengden, m³·km), men i praksis vil en slik fordelingsmåte neppe ha noen betydning.

I praksis vil det være meget vanskelig å skjelne mellom den faste og den variable del av vedlikeholdsomkostningene. I det følgende har jeg derfor betraktet den som en fast omkostning og fordelt den på samme måte som avskrivnings- og renteomkostningene. Når man ved langsiktige kalkyler regner med de gjennomsnittlige vedlikeholdsomkostninger for en rekke år, bør dette være tilfredsstillende.

Kalles vedlikeholdsomkostningene pr. km v, kan den gjennomsnittlige vedlikeholdsomkostning pr. km pr. m³ finnes av funksjonen $y = v \cdot \frac{1}{Q}$.

De indirekte transportomkostninger for en transportfase kan altså uttrykkes ved funksjonen $K = \frac{v + r}{Q} \cdot L$ og de samlede spesifikke transportomkostninger ved funksjonen $K = a + b \cdot L + \frac{v + r}{Q} \cdot L$.

Multipliseres samtlige ledd i funksjonen med Q, fås de samlede transportomkostninger for transportkvantumet Q. Funksjonen får da følgende utforming:

$$K = a \cdot Q + b \cdot L \cdot Q + (v + r) \cdot L$$

Dette er den samme funksjon som den Jørgensen anvender for de direkte transportomkostninger. Koeffisientene har imidlertid en annen betydning i den funksjon Jørgensen anvender enn i ovenstående.

III. Beregning av veiavstand.

1. Utledning av grunnformel.

I de siste par tiår har problemet å finne den gunstigste veiavstand beskjeftiget atskillige forskere. Fremst kan nevnes svenskene Danell, Sundberg og Larsson, amerikaneren Matthews, sveitseren Soom og nordmannen Fryjordet.

Danell (1939) foretok en analyse av problemet og kom frem til følgende:

«Det avstånd mellan bilvägarna, som sökes, är det, vid vilket skillnaden mellan körtidsprisen för hest- och biltransport blir lika med bilvägskostnaden fördelad på antalet fm^3, som skall utfraktas per km väg».

Danell uttrykte dette i følgende formel:

$$t_2 - t_3 = \frac{r + u}{b \cdot a \cdot 100} \text{ dvs. } a = \frac{r + u}{b \cdot (t_2 - t_3) \cdot 100}$$

t_2 = kjøretidspris for hest.
t_3 = kjøretidspris for lastebil.
r = årsrenten av veiens anleggsomkostninger.
u = vedlikeholdsomkostninger.
b = effektiv bonitet i m^3/ha.
a = avstanden mellom veinettets parallelt løpende veier.

Matthews (1942) har angrepet problemet på en annen måte.

Matthews går ut fra et veinett bestående av hovedveier og parallelle sideveier som går vinkelrett ut fra hovedveiene. Problemet er å finne den avstand mellom sideveiene som gir de minste samlede transportomkostninger – veiomkostninger medregnet – for et bestemt veiavsnitt.

Matthews kaller de samlede transportomkostninger x. De består av terminal- og underveisomkostninger ved lunning og fremkjøring samt veiomkostninger. Funksjonen får følgende utseende:

$$x = F + L + C \cdot \frac{S}{4} + H \frac{D}{2} + \frac{R}{12{,}1 \cdot V \cdot S}$$

F = terminalomkostninger for lunningen.
L = terminalomkostninger for veikjøringen.
C = underveisomkostninger for lunningen.
H = underveisomkostninger for veikjøringen.
S = veiavstand.

D = lengden av sideveiene.
R = veiomkostning pr. acre (ca. 4 dekar).
V = avvirkningskvantum pr. acre.

$12{,}1 \cdot S$ er arealet som sogner til sideveiene pr. 100 fot vei.

Matthews finner at funksjonen har sin minste verdi når de to ledd som inneholder den ukjente veiavstand er like store.

Han kan altså sette:

$$C \cdot \frac{S}{4} = \frac{R}{12{,}1 \cdot V \cdot S} \text{ og får}$$

$$S = \sqrt{\frac{0{,}33 \cdot R}{V \cdot C}}$$

Samset (1946) har søkt å løse problemet på en måte som i prinsipp er den samme som den Matthews anvender. Samset regner seg frem til den veiavstand som gir størst mulig minskning av transportomkostningene. Problemet løses ved en maksimumsbetraktning av følgende funksjon:

$$F(x) = (H(y) - H(x) - B(y)) \cdot T - \frac{R(xy) + V(xy)}{A(x)}$$

T = tilveksten (funksjon av boniteten).
$A(x)$ = arealet av en én km bred stripe mellom skogsbilveiene (funksjon av veiavstanden som er $2x$).
$H(y)$ = tidligere hestedrift (funksjon av tidligere hesteveilengde som er y).
$H(x)$ = fremtidig hestedrift (funksjon av veiavstanden).
$B(y)$ = fremtidig biltransport frem til offentlig vei.
$V(xy)$ = årlige vedlikeholdsutgifter av skogsbilveien.
$R(xy)$ = årlige renter og amortisasjon av veiens anleggsomkostninger.

Under forutsetning av at $A(x) = 2\,x \cdot y$, vil man komme frem til samme uttrykk for veiavstand som Matthews og senere Sundberg og Fryjordet er kommet frem til. Funksjonen kan nemlig gis formen

$$f(x) = H(y) - (H(x) + B(y) + \frac{R(xy) + V(xy)}{T \cdot 2\,x \cdot y})$$

Uavhengig av størrelsen av $H(y)$ vil funksjonen ha sitt maksimum når leddene med negativt fortegn er minst mulig, dvs. når transportomkostningene etter veibygging er minst mulig.

En rekke forskere har i de senere år anvendt Matthews' fremgangsmåte.

Sundberg har viet dette problem og andre problemer som hører nær sammen med dette, stor oppmerksomhet i sitt arbeid «Studier i skogsbrukets transporter». (1953).

Sundberg deler transportene i de primære og de sekundære transporter. De primære er transportene i skog frem til vei, mens de skundære er transportene på vei frem til leveringssted.

Sundberg går ut fra at den primære transportens kostende er høyere enn den sekundæres. Derav følger at den primære transportoperasjon må søke den korteste vei til de sekundære veier, dvs. vinkelrett mot de sekundære veier. Sundberg forutsetter videre at terminal- og underveisomkostningene ved de to transportoperasjoner er uavhengig av veiavstanden. Sundberg søker så «det läge av mötet mellan de två transportmetoderna, der summan av de två metodernas direkta och indirekta undervägskostnader för förflyttning av virket från utgångspunkterna till slutpunkterna är lägst».

Sundberg kom frem til følgende uttrykk for de totale transportomkostninger:

$$K = \frac{B}{4} \cdot (duk_1 + iuk_1) + (\frac{L}{2} + L_u) \cdot duk_2 + \frac{k_2}{B \cdot V}$$

B = bredden av det berørte areal, dvs. veiavstanden.
L = lengden av det berørte areal.
V = avvirkningskvantum pr. arealenhet.
duk_1 = den primære transports spesifikke direkte «undervägskostnad».
iuk_1 = den primære transports spesifikke indirekte «undervägskostnad».
duk_2 = den sekundære transports spesifikke direkte «undervägskostnad».
k_2 = omkostning pr. lengdeenhet av den sekundære vei.
L_u = lengden av den sekundære transportvei utenfor det berørte areal.

Ved en minimumsberegning fås følgende formel for veiavstand:

$$B = \sqrt{\frac{4\,k_2}{(duk_1 + iuk_1) \cdot V}}$$

Formelen er prinsipielt den samme som Matthews'.

Med dette uttrykk som grunnlag innfører Sundberg en rekke korreksjoner som vil bli nærmere drøftet senere.

Fryjordet (1955) har drøftet problemet ut fra de samme forutsetninger. Han kommer frem til følgende formel for veiavstand:

$$L = \sqrt{\frac{v + r}{M \cdot H' (L/4)}}$$

L = veiavstand.
r = årlige renter og avskrivninger av veiens anleggsomkostninger.
v = årlige vedlikeholdsomkostninger.
M = årlig avvirkningskvantum pr. km².
H' $(L/4)$ er den deriverte av transportomkostningsfunksjonen for hestekjøring, som Fryjordet har gitt formen

$$H_y = a + b \cdot y.$$

Sveitseren Soom (1950) har beregnet veiavstanden på et annet grunnlag. Hans omkostningsfunksjon for transporten i skog bygger således på omfattende tidsstudier. Soom forutsetter likeledes at lunningsretningen ikke er vinkelrett på den sekundære transportretning, men danner en vinkel på 45° med sekundærveiene. Soom får et forholdsvis komplisert uttrykk for veiavstanden. Volkert (1956) har regnet ut veiavstanden under forskjellige forhold etter Sooms metode.

Gerhard Larsson (1956) har beregnet veiavstanden etter helt andre prinsipper. Larsson mener at det er en bestemt sammenheng mellom anleggsomkostninger, (byggnadskostnader), veistandard (vägstandard) og underveisomkostninger, (undervägskostnader) for en vei. Det er videre et avhengighetsforhold mellom anleggsomkostninger, veiavstand, gjennomsnittlig avvirkningskvantum pr. arealenhet og lunningsomkostninger. De to problemer har tidligere vært søkt løst hver for seg. Larsson mener imidlertid at de må sees i og løses i sammenheng. Problemet var for ham å finne «den kombination av vägavstånd, vägstandard, principiell uppbyggnad av systemet och transportmetod, som ger den lägsta summan av förflyttningskostnad i skog, förflyttningskostnad på väg, lastnings- och avlastningskostnad samt vägkostnad per uttransporterad enhet vid antagna förhållanden». I forflytningsomkostninger i skog og på vei har Larsson medregnet omkostninger ved forflytning av personell.

Larsson kommer frem til et komplisert uttrykk for sammenhengen mellom veiavstand, veilengde, veistandard, anleggsomkostninger, gjennomsnittlig avvirkningskvantum pr. arealenhet og forflytningsomkostninger i skog og på vei. Under visse forutsetninger kan sammenhengen mellom veiavstand, veistandard, veilengde og gjennomsnittlig avvirk-

Fig. 3.

ning pr. arealenhet fremstilles grafisk. Larsson har konstruert 6 diagrammer som viser virkningen av visse variasjoner i anleggsomkostninger for veien, lunningsomkostninger samt forflytningsomkostninger for personell.

Larssons beregningsmetode forutsetter at «undervägskostnader» og «vägkostnader» er ensartede over et større område og at veinettet kan utformes uten vesentlige hindringer av terrengmessig art. Beregningsmåten fører i hvert enkelt tilfelle til én bestemt utforming av veisystemet. Det har derfor vært innvendt at metoden ikke er smidig nok i praksis. Larsson anfører selv at metoden bare er egnet til bruk i Sveriges lite kuperte morenemarker.

Det er i dette arbeide av flere grunner ikke gjort noe forsøk på å løse oppgaven på samme måte som Larsson har gjort.

De viktigste årsakene er:

a. Det vil under våre skiftende forhold være meget vanskelig å finne noen sammenheng mellom veiens anleggsomkostninger og dens standard.

b. Over de største delene av vårt land er beliggenheten av skogsveinettets hovedveier bestemt av terrenget. Når det gjelder de enklere side-

veier, har vi imidlertid langt større frihet til å velge den veiavstand som er den optimale under de rådende forhold. Det kan være av stor betydning for skogsdriftens økonomi at man på en forholdsvis enkel måte kan finne frem til den gunstigste tetthet av sideveiene.

I det følgende vil veiavstanden bli beregnet under forskjellige forutsetninger. Formelutvikling og korreksjon av formelen bygger i det vesentlige på Sundbergs og Fryjordets arbeider.

Fig. 3 viser et avgrenset skogområde med en hovedvei og flere sideveier. B er avstanden mellom sideveiene og den samme som bredden av det skogområde som drives til den enkelte sidevei. L er lengden av det av sideveiene berørte område. Under forutsetning av at transporten i skog foregår korteste vei til sideveien, blir den maksimale transportdistanse i skog $\frac{B}{2}$ og den gjennomsnittlige transportdistanse $\frac{B}{4}$. Den gjennomsnittlige transportdistanse på sideveien blir $\frac{L}{2}$. Settes den årlige rente og avskrivning av veiens anleggsomkostninger til r kr. pr. km, de årlige vedlikeholdsomkostninger til v kr. pr. km og det årlige gjennomsnittlige avvirkningskvantum er M m³ pr. km², kan de gjennomsnittlige transportomkostninger pr. m³ for det betraktede skogområde uttrykkes ved funksjonen

$$K = a_h + b_h \cdot \frac{B}{4} + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$$

der $a_h + b_h \cdot \frac{B}{4}$ er funksjonen for de direkte transportomkostninger pr. m³ i skog og $a_b + b_b \cdot \frac{L}{2}$ funksjonen for de direkte transportomkostninger pr. m³ ved fremkjøring på sideveistrekningen L. Ved derivasjon av funksjonen fås:

$$K' = \frac{b_h}{4} - \frac{v + r}{M \cdot B^2}$$

Da den annen deriverte er positiv, har funksjonen sin minimumsverdi ved den verdi av B som gjør den første deriverte av funksjonen lik 0. Vi kan altså sette $K' = 0$ og får

$$\frac{b_h}{4} = \frac{v + r}{M \cdot B^2} \text{ som gir}$$

$$B = \sqrt{\frac{4\,(v + r)}{M \cdot b_h}}$$

Under forutsetning av at avvirkningskvantumet er jevnt spredd ut over arealet, at tømmeret kan fraktes korteste vei fra stubbe til veiside og at veistrekningen gjennom området er lik lengden av det område som berøres av veien, gir formelen den veiavstand som gir de lavest mulige transportomkostninger pr. m³ innen arealet.

2. Korreksjon av formelen.

Den formel som er utviklet gjelder for flatt terreng hvor fremkjøringen i skog foregår fra begge sider av veien slik fig. 3 viser. Dersom veien ligger i brattlendt terreng og fremkjøringen i skog til vei bare foregår fra en side – kjøring bare unnabakke – blir den gjennomsnittlige lunneavstand $\frac{B}{2}$ istedenfor $\frac{B}{4}$. De øvrige faktorer i omkostningsfunksjonen blir de samme. Formelen for veiavstanden i brattlendt terreng blir derfor følgende:

$$B = \sqrt{\frac{2\,(v + r)}{M \cdot b_h}}$$

idet de samlede transportomkostninger pr. m³ innen det skogområde som berøres av veien blir:

$$K = a_h + b_h \cdot \frac{B}{2} + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$$

Den optimale veiavstand i flatt terreng er altså $\sqrt{2}$ ganger større enn den optimale veiavstand i brattlendt terreng, når forutsetningene for øvrig er de samme.

Hvis man i funksjonen for de samlede gjennomsnittlige transportomkostninger istedenfor $\frac{B}{4}$ eller $\frac{B}{2}$ innfører den generelle middellunneveilengde, F, og uttrykker F som en funksjon av veiavstanden B, vil man få:

$$K = a_h + b_h \cdot F + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L} \text{ og videre:}$$

$$K' = b_h \cdot F' \div \frac{v + r}{M \cdot B^2} \text{ som gir:}$$

$$B = \sqrt{\frac{v + r}{M \cdot b_h \cdot F'}}$$

I kapitel V, 3 er i forbindelse med valg av transportretning i brattlendt terreng vist hvordan middellunneveilengden regnes ut. I beregningseksempelet i samme avsnitt er F funnet å være 0,28 B. Herav fås $F' = 0{,}28$

som i formelen ovenfor gir $B = \sqrt{\frac{v + r}{0{,}28M \cdot b_h}}$

Settes underveisomkostningene i skog til kr. 1,— pr. m³ pr. km, kan den teoretisk riktige avstand mellom sideveiene regnes ut for forskjellige verdier av $v + r$ og M. I tabell 2 er veiavstanden regnet ut for aktuelle verdier av $v + r$ og gjennomsnittlig avvirkningskvantum pr. ha. Den gjennomsnittlige avvirkning forutsettes å svare til markens produksjonsevne.

Tabell 2.
Table 2.

Optimal veiavstand i km i flatt terreng når underveisomkostningene i skog er kr. 1,— pr. m³ pr. km.
Optimum road spacing in kilometres in even tarrain when underway costs (costs per kilometre) in forest terrain are N.Kr. 1,— per cu.m. per kilometre.

v + r kr. pr. km *N.Kr. per kilometre*	Bonitet (produksjonsevne i m³ pr. ha.) *Site (Mean annual increment, cu.m. per hectare).*				
	2	4	6	8	10
250	2,24	1,58	1,29	1,12	1,00
500	3,16	2,24	1,83	1,58	1,41
750	3,87	2,74	2,24	1,94	1,73
1000	4,47	3,16	2,58	2,24	2,00
1500	5,48	3,87	3,16	2,74	2,45
2000	6,32	4,47	3,65	3,16	2,83
2500	7,07	5,00	4,08	3,54	3,16
3000	7,75	5,48	4,47	3,87	3,46
3500	8,37	5,92	4,83	4,18	3,74
4000	8,94	6,32	5,16	4,47	4,00
4500	9,49	6,71	5,48	4,74	4,24
5000	10,00	7,07	5,77	5,00	4,47

Skal veiavstanden i brattlendt terreng under tilsvarende forutsetninger finnes, må de i tabell 2 funne verdier multipliseres med $\sqrt{\frac{1}{2}}$ eller 0,71.

Tabell 2 forutsetter som ovenfor nevnt at underveisomkostningene i skog er kr. 1,— pr. m³ pr. km. For 1957/58 var akkordsatsen for fremkjøring av tømmer med hest kr. 2,45 pr. m³ pr. km. For å finne den teoretisk riktige veiavstanden etter denne fremkjøringsomkostning i skog, må tallene i tabell 2 korrigeres med faktoren $\sqrt{\frac{1}{2{,}45}}$

Korreksjonsfaktoren, $k = \sqrt{\frac{1}{b_h}}$, er regnet ut for underveisomkostninger i skog fra kr. 1,— til kr. 10,— pr. m³ pr. km og finnes i tabell 3.

Tabell 3.
Table 3.

Korreksjonsfaktor, k, for underveisomkostninger i skog, b_h, fra kr. 1,— til kr. 10,— pr. m³ pr. km.
Factor of correction, k, for underway costs in forest terrain, b_h, ranging from N.Kr. 1,— to N.Kr. 10,— per cu.m. per kilometre.

b_h	k	b_h	k	b_h	k
1,00	1,00	2,50	0,63	5,00	0,45
1,25	0,89	2,75	0,60	6,00	0,41
1,50	0,82	3,00	0,58	7,00	0,38
1,75	0,76	3,25	0,55	8,00	0,35
2,00	0,71	3,50	0,53	9,00	0,33
2,25	0,67	4,00	0,50	10,00	0,32

Den utviklede formel for veiavstand forutsetter at transportdistansen i skog er lik «fågelvägens längd» (Sundberg 1953). I praksis er den gjennomsnittlige transportdistanse i skog ikke $\frac{B}{4}$ eller $\frac{B}{2}$. Sundberg innførte en korreksjonsfaktor som han kalte «slingertillegget». Betegnes slingertillegget med st_1, blir den gjennomsnittlige transportdistanse i skog $\frac{B}{4} \cdot 1{,}st_1$ eller $\frac{B}{2} \cdot 1{,}st_1$. Dette medfører en korreksjon av formelen med faktoren $\sqrt{\frac{1}{1{,}st_1}}$

I alminnelighet blir virket transportert til samleplasser mer eller mindre jevnt fordelt langs veien. Den midlere transportdistanse i skog blir således ikke $\frac{B}{4} \cdot 1{,}st_1$ eller $\frac{B}{2} \cdot 1{,}st_1$. Dersom samleplassene er fordelt med jevne mellomrom, kan den midlere transportdistanse i skog beregnes av følgende kompliserte matematiske uttrykk som er beregnet av Almqvist (Sundberg 1953):

$$F = \frac{1}{3}\sqrt{a^2 + b^2} + \frac{a^2}{6b} \cdot \operatorname{logtg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{b^2}{6a} \cdot \operatorname{logtg}\frac{\varphi}{2}$$

F = «fågelvägen» for transport fra en rektangulær flate til et av rektangelets hjørner.
a = rektangelets kortside.
b = rektangelets langside.
$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{b}{a}$.

Sundberg har regnet ut «fågelvägen» under forskjellige forutsetninger (Sundberg 1953, tabell 33).

I tabell 4 er gjengitt verdiene for middelveilengde ved innkjøring til samleplasser i flatt og i brattlendt terreng samt middellunneveiforlengelse i %. Dette vil medføre en korreksjon av de verdier man finner av formelen ved multiplikasjon med faktoren $\sqrt{\frac{1}{1,mf}}$ der *mf* er middellunneveiforlengelsen i %.

Tabell 4.
Table 4.

Lunning til samleplasser, Middellunneveilengde og middellunneveiforlengelse.
Skidding to landings. Average skidding distance and extension of average skidding distance.

Avstand mellom samleplassene, % av veiavstanden *Distance between landings, percentage of road spacing*	Middellunneveilengde, % av veiavstanden *Average skidding distance, percentage of road spacing*		Middellunneveiforlengelse, % *Extension of average skidding distance in per cent*	
	Flatt terreng *Even terrain*	Brattlendt terreng *Steep terrain*	Flatt terreng *Even terrain*	Brattlendt terreng *Steep terrain*
00	25,0	50,0	0	0
20	26,1	50,6	4	1
40	28,3	52,1	13	4
60	31,2	54,1	25	8
80	34,6	56,5	38	13
100	38,3	59,4	53	19
120	42,1	62,4	68	25
140	46,5	65,7	86	31
160	50,6	69,1	102	38
180	54,9	72,8	120	46
200	59,4	76,5	138	53

De to korreksjoner kan sammenfattes i en terrengkorreksjon. Sundberg (1953) anfører at slingertillegget normalt utgjør 20–30% ved slepkjøring (lunning med kälke). For vanlig østnorsk terreng bør det trolig regnes med noe høyere tall. Forlengelsen på grunn av innkjøring til samleplasser utgjør for flatt terreng fra ca. 25% til ca. 50% når avstanden mellom samleplassene er fra ca. 60% til ca. 100% av veiavstanden. For brattlendt terreng blir tilleggene betydelig mindre. En samleplassavstand på ca. halvparten av veiavstanden vil gi en meget moderat lunneveiforlengelse (18–20%).

Den samlede lunneveiforlengelse vil utgjøre produktet av slingertillegget og tillegget for innkjøring til samleplasser. Slingertillegg på 50% og tillegg for innkjøring til samleplasser på 25% gir en lunneveiforlengelse

på 87,5% og en terrengkorreksjon ved beregning av veiavstanden på 0,73. I tabell 5 er terrengkorreksjonen regnet ut for middellunneveiforlengelser fra 20% til 100%.

Tabell 5.
Table 5.

Middelluneveiforlengelse og terrengkorreksjon.
Extension of average skidding distance and correction of formula for calculation of road spacing

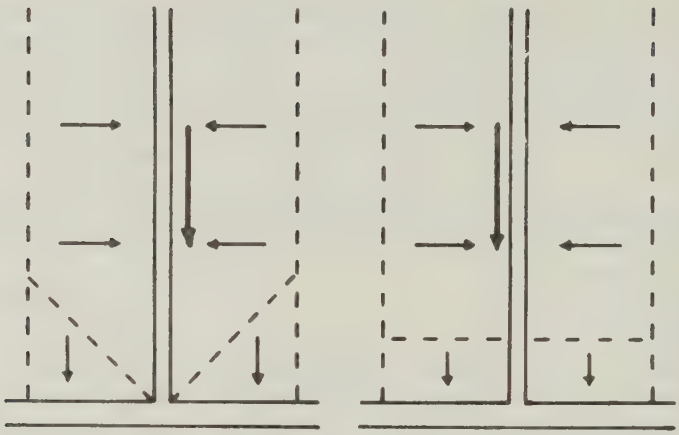
Middelluneveiforl., % *Extension of average skidding distance, per cent*	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Terrengkorreksjon *Correction of formula*	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71

VON SEGEBADEN (1957) har undersøkt en serie terrengtransportskisser opptatt i forbindelse med undervisningen i arbeidslære ved Skogshögskolan i Sverige for å få greie på hvor stor middellunneveiforlengelsen er under forskjellige forhold. Hver skisse representerer et naturlig transportområde. Innenfor hvert område er det etter nøyaktig rekognosering lagt inn terrengtransportveier dels før og dels etter utbygging av et ideelt veinett.

Lunneveiforlengelsen er beregnet ved sammenligning av den virkelige middellunneveilengde med den teoretiske middellunneveilengde, «fågelvägen», før og etter veibygging. De verdier von Segebaden kom frem til skulle altså kunne representere henholdsvis dårlig utbygde og ideelt utbygde veinett. Undersøkelsen viste at lunneveiforlengelsen for dårlig utbygde veinett ligger betydelig over lunneveiforlengelsen for ideelt utbygde veinett og videre at forlengelsen avtar med stigende middellunneveilengde. Forlengelsen for ideelt utbygde veinett avtar således fra ca. 50% til ca. 20% når «fågelvägen» øker fra ca. 100 m til ca. 1000m, mens den for dårlig utbygde veinett avtar fra ca. 170% til ca. 60% når «fågelvägen» øker fra ca. 250 m til ca. 1500 m.

Det er også forutsatt at lengden av sideveien er den samme som lengden av det skogområde som berøres av veien. I praksis må det også her regnes med et slingertillegg. Kalles slingertillegget st_2, blir veilengden $L \cdot 1{,}st_2$. Dette medfører at formelen må korrigeres med en veikorreksjon som er verdien av uttrykket $\frac{1}{1{,}st_2}$. Veikorreksjonen er regnet ut for slingertillegg fra 5% til 20% og finnes i tabell 6.

Hvor sideveiene munner ut i hovedvei, vil virket fra et visst område ved veikrysset mellom sidevei og hovedvei – det område som ligger nærmere hovedveien enn sideveien – utdrives direkte til hovedvei (Fig. 4). Virket



a Fig. 4. b

Tabell 6.
Table 6.

Veikorreksjon (korreksjon for veiens slingertillegg).
Road correction, correction for deviation of roadline from straight line.

Slingertillegg, %. *Deviation, per cent*	5	10	15	20
Veikorreksjon. *Road correction*	1,025	1,050	1,070	1,095

vil teoretisk bli drevet frem som vist i fig. 4a. Sundberg fant at det var vanskelig å finne frem til et brukbart uttrykk for korreksjonsfaktoren under denne forutsetning. Han forutsatte derfor at virket blir drevet frem som vist i fig. 4b og i fig. 5. Sundberg kalte forholdet mellom sideveienes lengde og veiavstanden a, altså $\frac{L}{B} = a$ (jfr. fig. 5) og forholdet mellom bredden av det område som drives direkte til hovedvei og veiavstanden n, altså $\frac{l_1}{B} = n$ (jfr. fig. 5). Herav fås $L = B \cdot a$ og $l_1 = B \cdot n$. Den virkesmengde som transporteres på sideveien vil utgjøre $M \cdot B \cdot (L - l_1)$ istedenfor $M \cdot B \cdot L$. Veiomkostningene pr. m³ transportert virke blir derfor $\frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot (L - l_1)}$. Settes $L = B \cdot a$ og $l_1 = B \cdot n$ fås

$$\frac{(v + r) \cdot B \cdot a}{M \cdot B \cdot B \cdot (a - n)} = \frac{(v + r) \cdot a}{M \cdot B \cdot (a - n)}.$$

Den tidligere funne veiavstand må altså korrigeres med uttrykket $\sqrt{\frac{a}{a - n}}$. Verdien av uttrykket $\sqrt{\frac{a}{a - n}}$ er regnet ut av Sundberg for forskjellige verdier av a og n og finnes gjengitt i tabell 7.

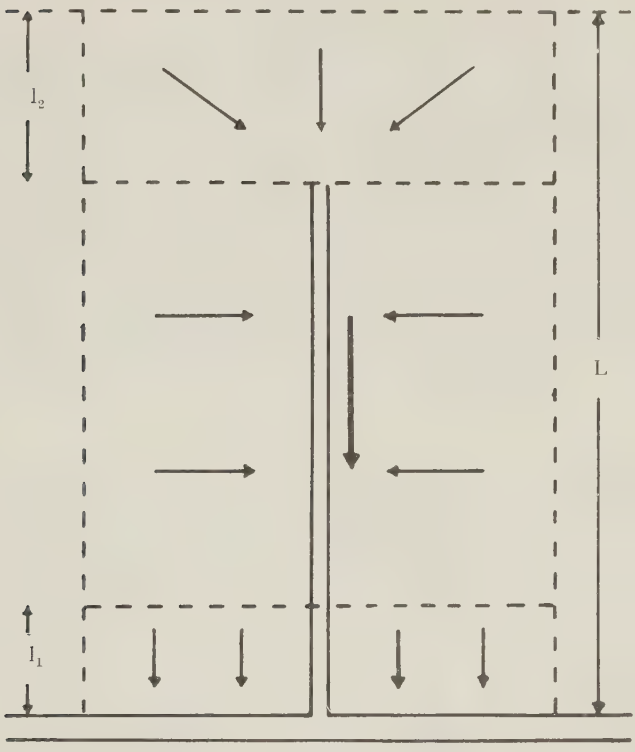


Fig. 5.

Det vil oftest være overflødig å bygge en sidevei helt frem til den bortre grense for transportområdet. På fig. 5 er veiavkortningen betegnet l_2. Sundberg kalte forholdet mellom veiavkortningen og veiavstanden n, altså $\frac{l^2}{B} = n$ (jfr. fig. 5) og som ovenfor forholdet mellom sideveienes lengde og veiavstanden a, altså $\frac{L}{B} = a$ (jfr. fig. 5). Istedenfor $(v + r) \cdot L$ blir veiomkostningene for sideveiene $(v + r) \cdot (L - l_2)$. Ved substitusjon fås:

$$(v + r) \cdot (a - n) \cdot B = (v + r) \cdot L \cdot \frac{a - n}{a}$$

Den tidligere funne veiavstand må således korrigeres med faktoren $\sqrt{\frac{a - n}{a}}$. Som det sees er korreksjonen for veiavkortning den inverse verdi av den foregående korreksjon. Verdien av korreksjonsfaktoren for veiavkortning for forskjellige verdier av a og n finnes av tabell 7. Dersom vei-

Tabell 7.
Table 7.

Korreksjonsfaktor når virke fra et visst område drives direkte til hovedvei, k, samt korreksjonsfaktor for veiavkortning, $\frac{1}{k}$. Etter Sundberg (1953).

Factor of correction when timber from a given region is hauled directly ty main road, k, and factor of correction for shortening of road, $\frac{1}{k}$. *According to Sundberg (1953).*

Sideveienes lengde i forhold til veistanden (*a*) *Length of side-roads relative to road spacing (a)*	Bredden av det område som drives direkte til hovedvei i forhold til veiavstanden (n). *Width of the region from where timber is hauled directly to main road relative to road spacing (n).*									
	1		½		⅓		¼		⅕	
	k	$\frac{1}{k}$	k	$\frac{1}{k}$	k	$\frac{1}{k}$	k	$\frac{1}{k}$	k	$\frac{1}{k}$
1	–	–	1,41	0,71	1,22	0,82	1,15	0,87	1,12	0,89
2	1,41	0,71	1,15	0,87	1,10	0,91	1,07	0,94	1,05	0,95
3	1,22	0,82	1,10	0,91	1,06	0,94	1,04	0,96	1,03	0,97
4	1,15	0,87	1,07	0,94	1,04	0,96	1,03	0,97	1,03	0,97
5	1,12	0,89	1,05	0,95	1,03	0,97	1,03	0,97	1,02	0,98

avkortningen gjøres like stor som bredden av det område som drives direkte til hovedvei, vil de to korreksjoner oppveie hverandre.

Av fig. 4 sees at bredden av det område som drives direkte til hovedvei utgjør ca. fjerdeparten av veiavstanden. Den gunstigste veiavkortning er i det følgende funnet å være ca. halvparten av veiavstanden. Er f. eks. forholdet mellom sideveienes lengde og veiavstanden 5, vil de respektive korreksjonsfaktorer bli henholdsvis 1,03 og 0,95 og den samlede virkning av de to korreksjoner $1{,}03 \cdot 0{,}95 = 0{,}9785$. Ser man ved beregningen av veiavstanden bort fra de to korreksjoner, vil man i dette tilfelle begå en feil på ca. 2%. Under uheldige omstendigheter, dvs. korte sideveilengder, kan feilen bli 15–20%. I de fleste tilfeller er feilen så liten at man uten å begå noen vesentlig feil kan se bort fra de to korreksjoner.

Da formelen for middelveilengde fra kjøreskifter av rektangulær form til et av rektangelets hjørner er så komplisert, er det vanskelig å finne frem til et enkelt uttrykk for den veiavkortning som gir den største gevinst. Gevinsten er differensen mellom innsparing i veiomkostninger og underveisomkostninger på veien og økningen i lunningsomkostninger.

Kalles gevinsten G, middellunneveilengden F og brukes forøvrig de samme symboler som tidligere, fås:

$$G = (v + r) \cdot l_2 - M \cdot B \cdot l_2 \cdot b_h \cdot \left(\frac{F - 25}{100}\right) \cdot B + M \cdot B \cdot l_2 \cdot b_b \cdot \frac{l_2}{2}$$

$$= (v + r) \cdot l_2 - M \cdot B^2 \cdot b_h \cdot \left(\frac{F - 25}{100}\right) \cdot l_2 + M \cdot B \cdot l_2 \cdot b_b \cdot \frac{l_2}{2}$$

Når F er gitt i % av veiavstanden, B, uttrykker $\frac{F-25}{100}$ B middellunneveiforlengelsen i % av B. Middelluneveiforlengelsen i % av veiavstanden for veiavkortninger inntil det dobbelte av veiavstanden ($l_2 = 2B$) finnes av tabell 8. (Beregnet etter tabell 33 i det arbeide av Sundberg som er nevnt tidligere). Forlengelsen er moderat for veiavkortninger mindre enn 50% av veiavstanden. Ved veiavkortning på 80% av veiavstanden fordobles middellunneveilengden og ved veiavkortninger på 200% av veiavstanden firedobles middellunneveilengden.

Tabell 8.
Table 8.

Middellunneveilengde, F, ved veiavkortning, l_2. (F og l_2 i % av veiavstanden, B.)
Average skidding distance, F, for shortening of road, l_2. (F and l_2 percentage of road spacing, B.)

l_2	F	l_2	F
10	26,1	80	50,6
20	28,3	90	54,9
30	31,2	100	59,4
40	34,6	125	70,8
50	38,3	150	82,2
60	42,1	175	94,1
70	46,5	200	106,0

Av det enkle uttrykk for veiavstand

$$B = \sqrt{\frac{4\,(v + r)}{M \cdot b_h}} \text{ fås } MB^2 b_h = 4\,(v + r)$$

I de to første ledd i uttrykket for gevinst ved veiavkortning er det altså et konstant forhold mellom $v + r$ i inntektsleddet og $M \cdot B^2 \cdot b_h$ i omkostningsleddet. For alle verdier av l_2 og derned F vil derfor såvel inntekts- som omkostningsleddet endres i samme forhold. For alle verdier av de uavhengig variable, $v + r$, M og b_h,vil derfor maksimum for summen av de to ledd inntreffe for en veiavkortning som regnet i % av veiavstanden er konstant. Beregninger som er foretatt, viser at maksimum for summen av de to ledd inntreffer når veiavkortningen utgjør ca. 42% av veiavstanden.

Da b_b er liten i forhold til b_h, vil det siste ledd i uttrykket for gevinst ved veiavkortning bli lite i forhold til de to første ledd. Man kan oppfatte det siste ledd som et korreksjonsledd. Korreksjonsleddet gjør at den opti-

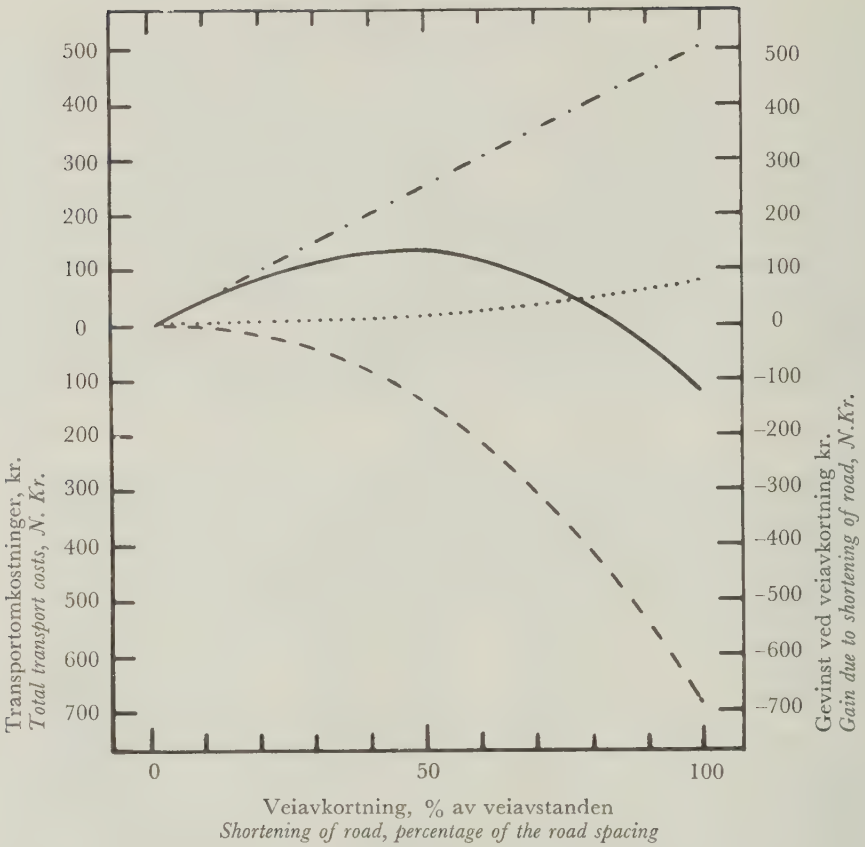


Fig. 6.

Beregning av optimal veiavkortning. Grafisk fremstilling av beregningseksempelet side 190.
Estimation of optimum shortening of road. From graphs showing the calculations page 190.
——— Gevinst ved veiavkortning. *Gain due to shortening of road.*
–·–·–·– Innsparing i veiomkostninger. *Decrease in road costs.*
– – – – – Økning i lunningsomkostninger. *Increase in skidding costs.*
..... Innsparing i underveisomkostninger på vei. *Decrease in underway costs on road.*

male veiavkortning blir noe større enn 42% av veiavstanden. I nedenstående beregningseksempel blir den optimale veiavkortning ca. 46% av veiavstanden.

Veiomkostninger, $v + r$ = kr. 500 pr. km.
Underveisomkostninger i skog, b_h = kr. 4,— pr. m³ pr. km.
Underveisomkostninger på vei, b_b = kr. 0,30 pr. m³ pr. km.
Gjennomsnittlig avvirkning, M = 500 m³ pr. km².
Veiavstanden, B, blir etter tabellene 2 og 3 1,0 km.

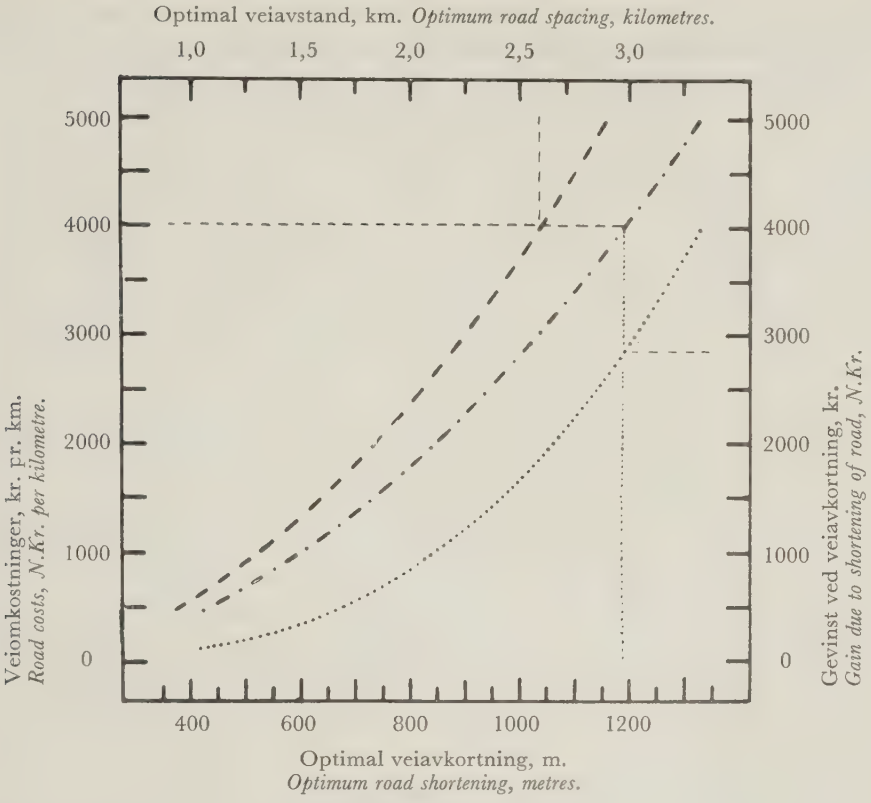


Fig. 7.

Sammenhengen mellom veiomkostninger, optimal veiavstand, optimal veiavkortning og gevinst ved veiavkortning. Årlig avvirkningskvantum 6 m³ pr. ha, b_h = kr. 4,00 pr. m³ pr. km, b_b = kr. 0,30 pr. m³ pr. km og rentefot 4 % p.a. *Relationship between road costs, optimum shortening of road, and gain due to shortening of road. Annual cut 6 cu.m. per hectare., b_h = N.Kr. 4,00 per cu.m. per kilometre and rate of interest 4 per cent.*

– – – – –Optimal veiavstand. *Optimum road spacing.*

–·–·–·–·Optimal veiavkortning. *Optimum shortening of road.*

.....Gevinst ved veiavkortning. *Gain due to shortening of road.*

Nedenfor er middellunneveiforlengelse, transportkvantum bak veiens endepunkt, innsparing i veiomkostninger og underveisomkostninger på vei, økning i lunningsomkostninger samt gevinst på grunn av veiavkortningen regnet ut for veiavkortninger av forskjellig størrelse.

Eksemplet og fig. 6 viser at den største årlige gevinst i dette tilfelle fås ved en veiavkortning på ca. 460 m. Variasjonen i gevinst er liten ved veiavkortninger på 40-50% av veiavstanden. Veiavkortninger på mer enn ca. 85% av veiavstanden gir tap.

Fig. 7 viser sammenhengende verdier av optimal veiavstand, optimal

Veiavkortning i % av veiavstanden	20	30	40	50	60	70
Middellunneveiforlengelse, km	0,033	0,062	0,096	0,133	0,171	0,215
Transportkvantum, m³.	100	150	200	250	300	350
Innsparing i veiomkostninger, kr.	100,—	150,—	200,—	250,—	300,—	350,—
Innsparing i underveisomkostninger på vei, kr.	3,00	6,75	12,00	18,75	27,00	36,75
Økning i lunningsomkostninger, kr.	13,20	37,20	76,80	133,00	205,20	301,00
Gevinst, kr.	89,80	119,55	135,20	135,75	121,80	85,75

veiavkortning og gevinst ved veiavkortning for $M = 600$ m³ pr. km², $b_h =$ kr. 4,— pr. m³ pr. km, $b_b =$ kr. 0,30 pr. m³ pr. km og verdier av $v + r$ fra kr. 500 til kr. 5000 pr. km (jfr. tabell 2). Figuren viser at veiavkortning kan gi en betydelig gevinst. Veiavstanden 2580 m gir således en veiavkortning på ca. 1200 m og en årlig gevinst på grunn av veiavkortningen på ca. kr. 2850. På den annen side kan tapet bli betydelig om veiavkortningen gjøres for stor. En veiavkortning som er like stor som veiavstanden vil under de sist nevnte forutsetninger gi et årlig tap på ca. kr. 2350. Om man regner i forhold til gevinsten ved optimal veiavkortning, blir det årlige tap ca. kr. 5200.

I alminnelighet kan man regne med å få nær maksimal gevinst ved veiavkortninger på 40–50% av veiavstanden.

3. Diskusjon av formelen.

Dersom alle de nevnte korreksjoner innarbeides i den enkle formel for veiavstand, vil formelen få følgende utseende:

$$B = \sqrt{\frac{4 \cdot (v + r) \cdot 1{,}st_2}{M \cdot b_h \cdot 1{,}st_1} \cdot \frac{a}{a - n} \cdot \frac{a - n}{a}}$$

st_1 er her den samlede lunneveiforlengelse.

Formelen viser at veiavstanden er avhengig av veiomkostningene, forlengelse av lunnevei og av sideveiene, gjennomsnittlig avvirkningskvantum, underveisomkostninger i skog, bredden av det område som drives direkte til hovedvei samt veiavkortningen. Veiavstanden er derimot med visse forbehold (jfr. side 192) uavhengig av lesse- og losseomkostningene samt underveisomkostningene på veien.

Det sees at veiavstanden øker med stigende veiomkostninger – renter og avskrivninger av anleggsomkostningene samt vedlikeholdsomkostninger –, med stigende slingertillegg for sideveien samt med økende bredde

på det område som drives direkte til hovedveien. Veiavstanden avtar med økende gjennomsnittlig årlig avvirkningskvantum, med stigende underveisomkostninger pr. km i skog (medregnet lunneveiforlengelsen) samt med økende lengde av veiavkortningen.

Høye veiomkostninger vil altså i alminnelighet betinge stor veiavstand og høye underveisomkostninger pr. km i skog liten veiavstand. Høye veiomkostninger betyr imidlertid som oftest vanskelig terreng som betinger vanskelighetstillegg ved transporten og økning av transportdistansen i skog og dermed høye transportomkostninger i skog. Virkningen av de de to faktorer vil derfor til en viss grad oppveie hverandre. Hvis således en fordobling av veiomkostningene innebærer at terrenget er så vanskelig at det betinger en fordobling av underveisomkostningene i skog, vil veistanden ikke påvirkes.

En økning av boniteten vil under ellers like forhold alltid føre til mindre veiavstand.

Det er nevnt at høy bonitet fører til liten veiavstand og lav bonitet til stor veiavstand. Er produksjonen liten, vil man ofte få vanskeligheter med å forrente en kostbar vei. I slike tilfeller vil det være fordelaktig å bygge en billig vei som stort sett må følge terrenget. Høy bonitet fører derimot til stor trafikk, hvilket vil si at man kan forrente en kostbarere vei. Man kan med andre ord legge ned større kapital i veibygging for å få gode veier når boniteten er høy enn når den er lav.

Det kan være verdt å merke seg at en senkning av underveisomkostningene i skog fører til en økning av veiavstanden. Dersom fremkjøringen i skog rasjonaliseres slik at underveisomkostningene i skog blir lavere, vil dette altså medføre at den gunstigste veiavstand blir større. Det kan i denne forbindelse være grunn til å drøfte i hvilken utstrekning en omlegging av transporten fra stubbe til veiside vil påvirke beregningsresultatet.

Hogstene kan deles i to grupper – hovedhogster og tynningshogster. Produksjonstabellene for granskog (Eide og Langsæter 1941) viser at tynningshogstene og hovedhogstene utgjør omtrent like stor del av totalproduksjonen hvis hovedhogst foregår når middeltilveksten kulminerer. Ca. 50% av totalproduksjonen må altså transporteres ut av bestand.

Det er lite trolig at man kan benytte store maskiner som f.eks. traktorer eller lastebiler med vinsj til fremdrift av tynningsvirke idet skadene på den gjenstående skogen antagelig vil bli for store. Tynningsvirket må troligvis også i fremtiden drives ut til vei med hest eller et lite terrenggående motorkjøretøy, f.eks. en tohjulstraktor. Dersom underveisomkostningene ved den fremtidige lunning av tynningsvirke skulle bli lavere, ville dette ifølge det foranstående resultere i en økning av den mest lønnsomme veiavstand.

For hovedhogstene kan man regne med at en utstrakt mekanisering av fremdriften vil lønne seg såfremt hogstflatene er av en viss størrelse. Lunningen vil trolig bli en eller annen form for vinsjlunning og muligens i forbindelse med videretransporten slik at virket slepes direkte til traktor eller lastebil. Dette skulle med de transportmidler vi har nå tilsi et ganske tett veinett. Det kan imidlertid tenkes at fremtidens transportmiddel vil kunne ta seg frem utenom vei med fullt lass og tillike ha stor hastighet på vei. Det kan også tenkes at fremdriften kan foregå på provisoriske vinterveier eller snøveier. Dersom hovedhogstene konsentreres til få og store flater, vil utgiftene til slike provisoriske veier bli uvesentlige.

Fremkjøringen på vinterføre vil muligens vanskeliggjøre lunning og fremkjøring i en operasjon. På den annen side må man av hensyn til arbeidskraftens beskjeftigelse også i fremtiden regne med at hogsten for en stor del må foregå om vinteren. Det vil om det blir aktuelt være naturlig at tynningshogstene blir lagt til sommertiden. Underveisomkostningene i skog medregnet omkostningene til provisoriske vinterveier eller snøveier skulle imidlertid ikke bli så høye at veinettet av den grunn bør gjøres tettere enn det veinett som er optimalt for den tradisjonelle fremdriftsmåte.

Det er i foranstående diskusjon forutsatt at veiavstanden er uavhengig av lesse- og losseomkostningene. Dette er korrekt bare under forutsetning av at fremdriften foregår som en lunningsoperasjon som er adskilt fra den etterfølgende veitransporten.

Når det gjelder hovedhogstene er det allerede nå i bruk maskiner hvorved lunning og videretransport foregår uten avbrudd. I så fall er terminalomkostningene til en viss grad avhengig av veiavstanden idet en sådan omlegging av transporten vil være betinget av at veiavstanden gjøres liten.

En omlegging av transporten med utbygging av det tette veinett dette vil kreve, vil være lønnsom såfremt økningen i veiomkostninger i forhold til de optimale ved den tradisjonelle fremdriftsmåte oppveies av en minskning i direkte transportomkostninger.

I formelen inngår renter og avskrivninger av anleggskapitalen som en del av veiomkostningsleddet, $v + r$. Det kan derfor være av interesse å se hvilken virkning en forandring av avskrivningstiden vil ha.

Settes anleggsomkostningene til kr. 30 000 pr. km, gjennomsnittlig avvirkning til 6 m³ pr. ha, rentefoten til 4%, underveisomkostningene i skog til kr. 4,— pr. m³ pr. km og korreksjon etter tabellene 5, 6 og 7 til 0,88 og antas vedlikeholdsomkostningene å være kr. 800 pr. km, blir $v + r$ etter følgende fire alternativer:

I.	100 års avskrivningstid	kr. 2025	pr. km
II.	50 » —»—	» 2200	» »
III.	25 » —»—	» 2720	» »
IV.	20 » —»—	» 3010	» »

Veiavstanden blir etter foranstående følgende:

For alternativ	I	1,6 km.
» »	II	1,7 »
» »	III	1,9 »
» »	IV	2,0 »

Varieres rentefoten, vil veiavstanden for de tilsvarende alternativer bli noe mindre for lavere rentefot og noe større for høyere rentefot. For alternativene I og IV og rentefot 3% og 5% blir veiavstanden eksempelvis henholdsvis 1,5 km og 1,9 km for en rentefot på 3% og henholdsvis 1,7 og 2,0 for en rentefot på 5 %. Det sees at når avskrivningstiden er kort, er variasjonen i veiavstand med rentefoten moderat.

Det kan også være grunn til å drøfte i hvilken utstrekning renter og avskrivning av anleggskapitalen skal regnes som transportomkostninger.

Avskrivningene kan som tidligere nevnt betraktes på to forskjellige måter. De formelle eller bokførte avskrivninger er de avskrivninger som skatteloven gir hjemmel for. Skatteloven gir ingen hjemmel for å regne renter av anleggskapitalen som omkostninger såfremt veibyggingen ikke er finansiert ved lån. De reelle avskrivninger er de nettoinntekter investeringen gir. Med nettoinntekter menes innsparingen i direkte transportomkostninger samt mulige andre inntekter på grunn av investeringen med fradrag av eventuell inntektsskatt. En investering i et veianlegg kan altså oppfattes som en forskuttering av fremtidige inntekter av veianlegget. Ved transportøkonomiske beregninger er det naturlig å regne med de reelle avskrivninger og undersøke om dette gir en rimelig avskrivningstid. Det er derfor nødvendig å betrakte avskrivninger og renter som transportomkostninger.

En investeringskalkyle, (lønnsomhetskalkyle), for et veianlegg kan f.eks. utføres således:

Forutsetninger:

Netto anleggsomkostninger, A, (fratrukket mulige offentlige bidrag) kr. 30 000.

Årlig inntekt, I, ved minskning i direkte transportomkostninger kr. 3500.

Årlige omkostninger, V, i vedlikehold av veien kr. 1300.

Rentefot 4% p.a.

Avskrivningstid for veien n år.
Betingelsen for lønnsomhet kan uttrykkes på følgende måte:

$$I \cdot \frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n} = A + V \cdot \frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n}$$

Kalles faktoren $\frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n}$, som er en kapitaliseringsfaktor, k, får man:

$$A = k\ (I - V)$$

Grensen for lønnsomhet er:

$$A = k\ (I - V) \text{ som gir}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{I - V}{A}$$

Kapitaliseringsfaktoren, k, er den inverse verdi av amortiseringsfaktoren som finnes av tabell 1. Med de i eksemplet gitte verdier for A, I og V fås $\frac{1}{k} = 0{,}0733$ som gir $n = 20$ år. Med de inntekter og utgifter ved veianlegget som det er regnet med vil veianlegget være opptjent på 20 år.

Det er i de fleste utredninger om veiavstand bare regnet med transport av virke. Larsson (1956) påpeker at også underveisomkostningene for personell må regnes med, idet også personelltransportene må være med på å bære sin andel av veiomkostningene. Larsson har beregnet at den tid som medgår til samtlige arbeider i skog svarer til ca. ½ dagsverk pr. m³ som avvirkes i skogen. Larsson regner at transporten av personell i skog tar 25 minutter pr. km transportdistanse, svarende til 2 km gange.

Prissettes transporttiden, kan man finne underveisomkostningene pr. km i skog. Larsson satte timebetalingen til kr. 3,— og fikk en underveisomkostning for personell i skog på kr. 0,625 pr. m³ pr. km. I en tilsvarende beregning som er foretatt av Institutt for jordskifte og eiendomsutforming ved Norges Landbrukshøgskole (1957) er timebetalingen satt til kr. 4, — hvilket gir en underveisomkostning for personell i skog på kr. 0,84 pr. m³ pr. km. Under de forutsetninger Larsson anfører kan underveisomkostningene for personell pr. m³ pr. km beregnes av uttrykket $t \cdot \frac{25}{60 \cdot 2}$ der t er den timebetaling man regner med.

Utbyggingen av et veinett for et område vil gi økede inntekter ved lavere direkte transportomkostninger, såkalt transportgevinst, men også på annen måte. I kapitel V, 3 er nevnt «andre inntektsposter» som man bør ta med ved beregningen av et veinetts lønnsomhet. Man kunne da være fristet til å la transportene bære sin del av veiomkostningene i forhold til transportgevinstens andel av de samlede inntekter ved veibyggingen og la «andre inntekter» bære sin del av veiomkostningene. Hvis man godtar et slikt resonnement, har man tapt målet for utbyggingen av et veinett av syne. Målet må nemlig være å anlegge et veisystem som gir de lavest mulig samlede transportomkostninger.

Det synes rimelig å regne omkostningene ved transport av personell til og fra arbeidsplassene i skogen som en del av de samlede transportomkostninger. Larssons måte å beregne transportomkostningene i skog for personell gir ikke helt riktig resultat, bl.a. fordi gangtillegg og avsidestillegg ved hogsten ikke beregnes som et visst tillegg pr. m³ pr. km, men ved et visst prosenttillegg til hogstprisen. Den feil man begår er imidlertid så liten at den neppe har noen praktisk betydning.

I det følgende er det ved beregningen av veiavstanden regnet med at underveisomkostningene i skog består av underveisomkostninger for virke og for personell. b_h i formelen for veiavstand er således summen av underveisomkostninger for virke og for personell.

IV. Anvendelse av formel og tabeller.

1. Beregning av veiavstand ved hjelp av tabellene.

Det skal bygges sideveier i et skogområde som har en gjennomsnittlig årlig avvirkning på 6 m³ pr. ha. Anleggsomkostningene for sideveiene er kr. 30 pr. m. Avskrivningstiden settes til 25 år og rentefoten til 4 %. Årlig vedlikeholdsomkostninger for veien antas å bli kr. 1080 pr. km. Terrenget er brattlendt og de samlede underveisomkostninger i skog for virke og for personell settes til kr. 4,— pr. m³ pr. km. Lunneveiforlengelsen settes til 70 % og slingertillegget for sideveiene til 15 %. Korreksjon for virke som drives direkte til hovedvei og korreksjon for veiavkortning regnes å oppheve hverandre.

Tabell 1 gir avskrivning og rente $0{,}0640 \cdot 30\,000 =$ kr. 1920 pr. km. $v + r$ i formelen blir altså $1920 + 1080 =$ kr. 3000 pr. km.

Tabell 2, bonitet 6 m³ pr. ha, $v + r =$ kr. 3000 pr. km gir en veiavstand i flatt terreng på 4,47 km når underveisomkostningene i skog er kr. 1,— pr. m³ pr. km. Dette svarer til en veiavstand på $4{,}47 : \sqrt{2} = 3{,}16$ km i brattlendt terreng.

Tabell 3 gir en korreksjonsfaktor på 0,50 når underveisomkostningene for virke og for personell er kr. 4,— pr. m³ pr. km. Dette gir en veiavstand på $3{,}16 \cdot 0{,}5 = 1{,}58$ km.

Tabell 5 gir en terrengkorreksjon på 0,77 for en lunneveiforlengelse på 70% og tabell 6 en korreksjonsfaktor på 1,07 for et slingertillegg på sideveiene på 15%. Veiavstanden for området skulle altså bli

$$1{,}58 \cdot 0{,}77 \cdot 1{,}07 = 1{,}3 \text{ km.}$$

2. Beregning av veiavstand ved grafisk fremstilling av funksjonene for underveisomkostninger og veiomkostninger.

Som tidliger vist utgjør de gjennomsnittlige transportomkostninger for et veiavsnitt:

$$K = a_h + b_h \cdot \frac{B}{4} + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$$

Veiavstanden viste seg å være uavhengig av lesse- og losseomkostningene og underveisomkostningene pr. m³ pr. km på vei. Veiavstanden avhenger bare av underveisomkostningene pr. m³ pr. km i skog, veiomkostningene og gjennomsnittlig avvirkning pr. ha.

Formelutviklingen viser at de samlede transportomkostninger blir minst når veiomkostningene pr. km pr. m³ er like store som de gjennomsnittlige underveisomkostninger pr. m³ i skog. Uttrykket $\frac{b_h}{4} = \frac{v + r}{M \cdot B^2}$ kan nemlig skrives $b_h \cdot \frac{B}{4} = \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$ der $M \cdot B \cdot L$ er det virkeskvantum som drives til veistrekningen L. Betrakter man den grafiske fremstilling av veiomkostningene pr. km pr. m³ og den grafiske fremstilling av underveisomkostninger i skog, vil man altså få de minste samlede transportomkostninger ved den veiavstand som svarer til skjæringspunktet for de to kurver. Kjenner man funksjonene for veiomkostninger og for underveisomkostninger i skog, er det således enkelt å finne den gunstigste veiavstand grafisk. Fremgangsmåten er vist i nedenstående eksempel.

$v + r$ = kr. 1 500,– pr. km inklusive slingertillegg.
M = 500 m³ pr. km² (produksjonsevne 5 m³ pr. ha).
b_h = kr. 5,– pr. m³ pr. km inklusive lunneveiforlengelse.

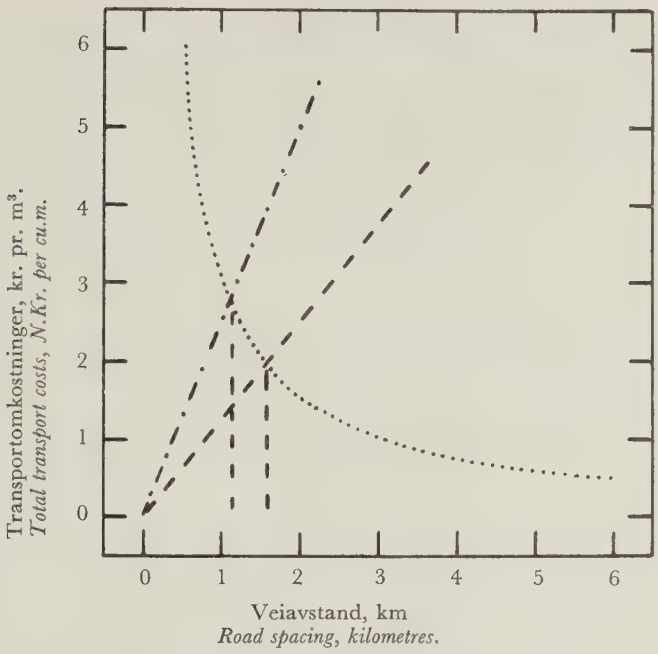


Fig. 8.

Beregning av optimal veiavstand ved grafisk fremstilling av funksjonene for underveisomkostninger og veiomkostninger. *Estimation of optimum road spacing by means of graphs for underway cost and road cost functions.*

– – – – – $y_1 = 5{,}00 \cdot \frac{B}{4}$

–·–·–·– $y_1 = 5{,}00 \cdot \frac{B}{2}$

..... $y_2 = \frac{1500}{500 \cdot B}$

De funksjoner hvis skjæringspunkter man skal finne er altså:

$y_1 = 5{,}00 \cdot \frac{B}{4}$ eller $y_1 = 5{,}00 \cdot \frac{B}{2}$ for henholdsvis flatt og brattlendt terreng og $y_2 = \frac{1500}{500\,B}$

Den grafiske løsning er vist i fig. 8. Av figuren finnes den gunstigste veiavstand i flatt terreng å være ca. 1,6 km og i brattlendt terreng ca. 1,1 km.

V. Videre anvendelse av formel og tabeller.

De samlede gjennomsnittlige transportomkostninger pr. m³ fra et skogområde er i det foregående uttrykt ved funksjonen

$$K = a_h + b_h \cdot \frac{B}{4} + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$$

Den gunstigste veiavstand er regnet ut under forutsetning av at transporten foregår som hestelunning etterfulgt av lastebiltransport på bilvei. Funksjonen er imidlertid ikke anvendelig bare under disse begrensede forutsetninger. For all transport kan man tale om en lunningsfase og en veitransportfase. Ved kabeltransport av virke kan man således benevne hukingen av tømmeret og innslepingen til kabelen som en «lunningsfase» og videretransporten på kabelen som en «veitransportfase». I mange tilfeller kan veitransportfasen være delt i flere operasjoner. Kabeltransport kan f.eks. etterfølges av traktor- eller lastebiltransport.

I alle tillfeller kan de gjennomsnittlige transportomkostninger fra et skogområde beregnes av foranstående grunnfunksjon. For hvert transportmiddel i tillegg til dem funksjonen forutsetter, får man et nytt sett omkostningsledd (terminal- og underveisomkostningsledd).

Hvis man på forhånd har et veinett i et avgrenset skogområde, kan man benytte funksjonen til å finne hvilke transportmidler og transportmetoder som er de gunstigste under de rådende forhold for de enkelte faser av transporten. De gjennomsnittlige transportomkostninger pr. m³ kan beregnes og sammenlignes med de gjennomsnittlige transportomkostninger ved optimalt utbygget transportbanenett. Man kan da få et mål for hvor stor kapital man kan legge ned for å få et optimalt utbygget transportbanenett.

Har man flere muligheter for kombinasjon av transportmidler, er det klart at man bør velge den kombinasjon som gir de laveste transportomkostninger i gjennomsnitt pr. m³ fra skogområdet.

I det følgende vil det bli foretatt sammenlignende beregninger for forskjellige kombinasjoner av transportmidler i en del valgte tilfeller.

1. Sammenligning mellom lastebiltransport og traktortransport.

a. Valg av transportbane og transportmiddel.

En tømmerreserve fra et avsidesliggende skogområde skal drives ut med 1000 m³ virke pr. år. Det må bygges en adkomstvei på 10 km. Problemet er om det vil lønne seg å bygge traktorvei eller bilvei. Anleggs-

omkostningene for traktorvei regnes å bli kr. 6000 pr. km og for bilvei kr. 15 000 pr. km. Avskrivningstiden regnes i begge tilfeller å være 25 år. Årlig avskrivning og rente blir da henholdsvis kr. 440 og kr. 960 pr. km. Regnes de årlige vedlikeholdsomkostninger å utgjøre henholdsvis kr. 160 og kr. 540 pr. km, blir $v + r$ henholdsvis kr. 600 og kr. 1 500 pr. km. Antas transportomkostningsfunksjonen for traktortransport å være $5{,}90 + 0{,}50 \cdot L$ og for lastebiltransport $3{,}20 + 0{,}30 \cdot L$, blir de samlede transportomkostninger pr. m³ følgende idet Q er transportkvantumet:

For traktor:

$$K_t = a_t + b_t \cdot L + \frac{(v + r)_t \cdot L}{Q} \text{ som gir}$$

$$K_t = \text{kr. } 16{,}90 \text{ pr. m}^3$$

For lastebil:

$$K_b = a_b + b_b \cdot L + \frac{(v + r)_b \cdot L}{Q} \text{ som gir}$$

$$K_b = \text{kr. } 21{,}20 \text{ pr. m}^3$$

I dette tilfelle faller lastebiltransport kostbarere enn traktortansport. Dette kommer i første rekke av at transportkvantumet er forholdsvis lite hvorved veiomkostningene pr. m³ blir store.

b. Beregning av grensekvantum.

Funksjonene kan også benyttes til å finne hvor stort transportkvantumet må være forat overgang fra traktortransport til lastebiltransport skal være lønnsom, idet $K_t = K_b$ ved det transportkvantum bytte av transportbane og transportmiddel er lønnsomt. Kalles grensekvantumet som er det transportkvantum hvorved transportomkostningene for de to transportmåter er like store, Q, fås:

$$a_t + b_t \cdot L + \frac{(v + r)_t \cdot L}{Q} = a_b + b_b \cdot L + \frac{(v + r)_b \cdot L}{Q}$$

Ligningen løses med hensyn på Q.

$$Q = \frac{((v + r)_b - (v + r)_t) \cdot L}{(a_t + b_t \cdot L) - (a_b + b_b \cdot L)}$$

Med de i eksempelet gitte forutsetninger blir grensekvantumet for traktortransport og lastebiltransport ca. 1900 m³.

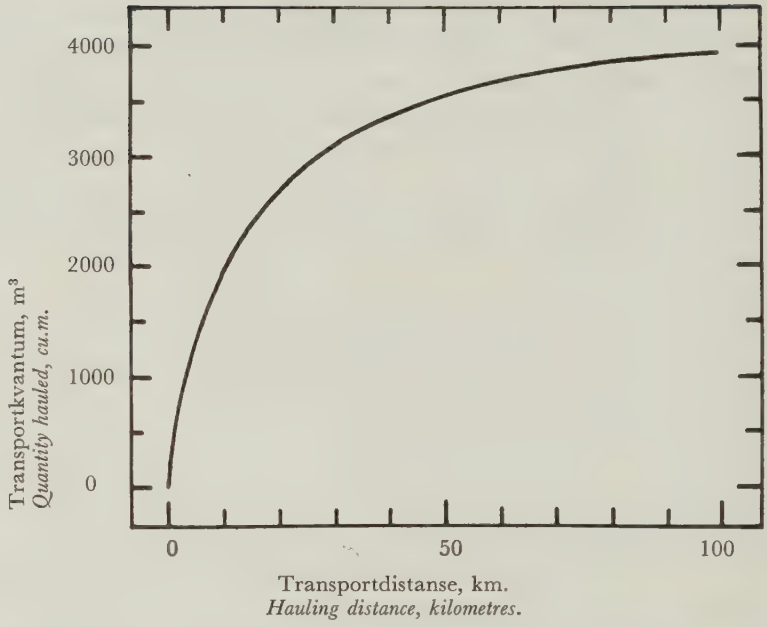


Fig. 9.

Sammenhengen mellom transportkvantum og grenseveilengde og mellom transportdistanse og grensekvantum under de forutsetninger som er gitt i kap. V, 1. *Relationship between quantity hauled and break-even distance, and between hauling distance and break-even quantity on the assumptions given in Chapter V, Item 1.*

c. Beregning av grenseveilengde.

Løses ovenstående ligning med hensyn på L, finner man grenseveilengden som er den veilengde hvorved transportomkostningene for de to transportmidler er like store for et bestemt transportkvantum. Man får:

$$L = \frac{a_t - a_b}{\frac{(v + r)_b - (v + r)_t}{Q} - (b_t - b_b)}$$

Med de i eksempelet gitte forutsetninger blir grenseveilengden for et transportkvantum på 1000 m³ ca. 3,9 km.

Fig. 9 viser sammenhengen mellom grenseveilengde og transportkvantum og mellom grensekvantum og transportdistanse under de i eksempelet gitte forutsetninger.

d. Beregning av grenseomkostning.

Funksjonene kan også benyttes til å finne grenseomkostningene som er de veiomkostninger, $v + r$, for bilveien hvorved det er like lønnsomt

å benytte lastebiltransport som traktortransport. Ligningen løses med hensyn på $v + r$ for bilveien. Man får:

$$(v + r)_b = \frac{(a_t + b_t \cdot L) - (a_b + b_b \cdot L)}{L} \cdot Q + (v + r)_t$$

Med de i eksempelet gitte forutsetninger blir grenseomkostningene for bilveien kr. 1070 pr. km. Omkostningene for bilveien må altså være noe lavere enn dem det er regnet med i eksempelet.

2. Beregning av de samlede transportomkostninger fra et større skogkompleks.

Et skogkompleks på ca. 5 000 ha antas å gi et årlig gjennomsnittlig hogstkvantum på 20 000 m³ svarende til en produksjonsevne på 4 m³ pr. ha. Det skal planlegges en adkomst- og hovedvei på 25 km og et veinett innen området. Tømmeret kan over alt lunnes frem til vei med hest. Videretransporten kan foregå med traktor til adkomst- og hovedveiens begynnelsespunkt, med traktor til adkomst- og hovedveiens endepunkt og derfra videre med lastebil eller bare med lastebil.

De forskjellige kombinasjoner av transportmidler vil gi forskjellig utforming av veinettet. I det førstnevnte tilfelle bygges alle veier som traktorveier med et forholdsvis tett traktorveinett innen området. I det annet tilfelle bygges det traktorveier innen området mens adkomst- og hovedveien bygges som bilvei. I det sistnevnte tilfelle bygges alle veier som bilveier med et forholdsvis glissent veinett innen området.

Det skal undersøkes hvilken kombinasjon av transportbane og transportmiddel som vil gi de laveste gjennomsnittlige transportomkostninger pr. m³.

Det regnes med at anleggsomkostningene for adkomst- og hovedveien bygget som traktorvei vil bli kr. 8 000 pr. km og bygget som bilvei kr. 20 000 pr. km. Vedlikeholdsomkostningene regnes å bli henholdsvis kr. 300 og kr. 600 pr. km. For sideveiene innen området regnes det med anleggsomkostninger på henholdsvis kr. 6 000 og kr. 15 000 pr. km og vedlikeholdsomkostninger på henholdsvis kr. 170 og kr. 430 pr. km. Avskrivningstiden settes til 20 år for traktorveiene og 30 år for bilveiene. Rentefoten settes til 4% p.a. Avskrivning og rente for adkomst- og hovedveien blir da henholdsvis kr. 600 og kr. 1 150 pr. km og for sideveiene henholdsvis kr. 430 og kr. 870 pr. km. De samlede veiomkostninger blir dermed for adkomst- og hovedveien henholdsvis kr. 900 og kr. 1 750 pr. km og for sideveiene henholdsvis kr. 600 og kr. 1 300 pr. km.

Settes de samlede underveisomkostninger i skog for personell og virke til kr. 4,00 pr. m³ pr. km, blir optimal veiavstand for de to omkostnings-

alternativer etter tabell 2 og 3 henholdsvis 1,2 og 1,8 km. Korrigert med ca. 0,85 etter tabellene 5, 6 og 7 kan veiavstanden innen området settes til 1,0 km for et traktorveinett og 1,5 km for et bilveinett.

Området regnes å ha en utstrekning på 9·5,6 km. Hovedveien innen området regnes å bli 9 km inklusive slingertillegg. Gjennomsnittlig transportdistanse på adkomst- og hovedveien blir da 20,5 km. Veinettet innen området regnes å bli 9 sideveier à 5,0 km inklusive slingertillegg med en samlet lengde av 45 km for traktortransport eller 6 sideveier à 4,6 km inklusive slingertillegg med en samlet lengde av 27,6 km for lastebiltransport. Den gjennomsnittlige transportdistanse på vei kan derfor settes til 23 km for traktortransport, 2,5 km traktortransport og 20,5 km lastebiltransport for kombinert transport og 22,8 km for lastebiltransport.

Settes slingertillegget i skog og tillegget for innkjøring til samleplasser til i alt ca. 30%, blir den gjennomsnittlige lunneveilengde ved traktorveinett 325 m og ved bilveinett 500 m. Omkostningsfunksjonen for hestelunning settes til $7{,}00 + 2{,}50 \cdot L_h$, for lastebiltransport til $3{,}20 + 0{,}30 \cdot L_b$, for traktortransport på veilengder over 6 km til $5{,}90 + 0{,}50 \cdot L_t$ og for traktortransport på veilengde fra 2 til 4 km til $4{,}30 + 0{,}80 \cdot L_t$.

De gjennomsnittlige transportomkostninger blir for de forskjellige alternativer etter foranstående følgende:

Alternativ 1. Hestelunning og traktortransport.

$$K = a_h + b_h \cdot L_h + a_t + b_t \cdot L_t + \frac{(v + r) \cdot L_a + (v + r) \cdot L_s}{Q}$$

L_a = Lengden av adkomst- og hovedveien.
L_s = Lengden av sideveien.
Under de i eksemplet gitte forutsetninger fås
K = kr. 27,69 pr. m³.

Alternativ 2. Hestelunning og kombinert veitransport.

$$K = a_h + b_h \cdot L_h + a_t + b_t \cdot L_t + a_b + b_b \cdot L_b + \frac{(v + r) \cdot L_a + (v + r) \cdot L_s}{Q}$$

Herav fås K = kr. 27,00 pr. m³.

Alternativ 3. Hestelunning og lastebiltransport.

$$K = a_h + b_h \cdot L_h + a_b + b_b \cdot L_b + \frac{(v + r) \cdot L_a + (v + r) \cdot L_s}{Q}$$

Herav fås K = kr. 22,27 pr. m³.

Under de i eksemplet gitte forutsninger gir bilveibygging og lastebiltransport de laveste gjennomsnittlige transportomkostninger. Dette skyldes det store transportkvantum og den lange transportdistanse. (Jfr. fig. 9). Traktortransport gir i dette tilfelle de høyeste gjennomsnittlige transportomkostninger.

Eksempelet viser at en feilvurdering kan bli temmelig kostbar. Lastebiltransport gir således kr. 5,42 pr. m^3 lavere transportomkostninger enn traktortransport. For hele transportkvantumet utgjør dette kr. 108 400 pr. år. De samlede anleggsomkostninger ved bilveibygging vil utgjøre kr. 914 000 og ved traktorveibygging kr. 470 000. Eksempelet viser med all ønskelig tydelighet at det kan være en tvilsom fornøyelse å være nødt til å bygge billig.

Det er i de foregående eksempler bare regnet med de direkte og de indirekte transportomkostninger. Det er imidlertid også andre momenter som kan ha avgjørende betydning for valget av den ene eller den andre transportbane. Av disse momenter kan en del være til gunst for en billig transportbane og traktortransport, mens andre momenter kan tale til fordel for bilvei og lastebiltransport.

Av de momenter som taler for en billig vei og traktortransport kan nevnes kapitalmangel, eierens ønske om å benytte traktortransport for å nyttiggjøre seg en maskinpark som han disponerer eller må anskaffe til jordbruket og eierens behov for å skaffe beskjeftigelse for seg selv og gårdens faste arbeidskraft også i vinterhalvåret.

Kapitalmangel er oftest årsaken til at mange skogeiere ikke makter å bygge en vei av den standard som i det lange løp gir de laveste transportomkostninger. Dette behøver ikke nødvendigvis være til ubotelig skade under forutsetning av at veien er lagt slik at man senere uten å legge den om ved utbedringsarbeider kan heve dens standard og derved oppnå lavere underveisomkostninger. En større del av anleggskapitalen kan i så fall avskrives med investeringsavgift og offentlig bidrag. Det tør nemlig være kjent at «Offentlige bidrag til nyanlegg av varig art og avgiftsmidler som frigis til slikt anlegg, inntektsbeskattes ikke såfremt bidraget (midlene) uten tilsvarende fradrag ved inntektsansettelsen nyttes til nedskrivning av det nye anleggs kostpris». Norsk Lovtidend (1952). Omkostningene til utbedring av veien vil som oftest kunne føres til utgift på årets drift eller avskrives med avgiftsmidler. Ved å drøye ut anleggstiden kan man altså oppnå en betydelig gunstigere bokført avskrivning enn om veien ble bygget som bilvei med en gang. Til gjengjeld må man antagelig regne med noe høyere samlede anleggsomkostninger. Skogoppsynet kan forøvrig gi forhåndsløfte om at større inves-

teringsarbeider som planlegges, helt eller delvis kan dekkes av investeringsmidler som innbetales i løpet av et visst antall år etter at investeringen er foretatt.

Eierens ønske om å benytte traktortransport for å nyttiggjøre seg en maskinpark som han disponerer eller må anskaffe til jordbruket og eierens behov for å skaffe beskjeftigelse for seg selv og gårdens faste arbeidskraft også i vinterhalvåret angår først og fremst de små og middelstore gårdsskoger. Dersom en jordbrukstraktor brukes til tømmertransport om vinteren, vil en del av de årlige faste utgifter ved traktoren kunne belastes skogen. Derved økes også lønnsomheten av å bruke traktor på innmarken. På de mindre bruk er eieren dessuten avhengig av sin egen arbeidsinntekt. De direkte omkostninger til mannskap på traktoren i tømmertransporten er samtidig arbeidsinntekter for eieren og hans faste arbeidskraft. Dersom eieren vanskelig kan finne annen lønnsom beskjeftigelse, kan disse omkostninger ikke uten videre regnes som transportomkostninger ved sammenligning mellom traktortransport og lastebiltransport. Forholdet vil bli et annet hvis eieren kan finne annen lønnsom beskjeftigelse.

Det er langt flere momenter som taler til fordel for bilvei og lastebiltransport og jo større området er, jo større er fordelene ved et bilveinett. Av «inntektene» ved et bilveinett kan nevnes fordeler ved salg og levering av virke, fordeler for den primære og for den sekundære skogproduksjon, mulighetene for andre direkte økonomiske fordeler ved et bilveinett, m.m.

Det moment som teller mest i kr. pr. m^3 er antagelig de fordeler som kan oppnås ved salg og levering av virke. I mange distrikter har i de senere år skogeierne kunnet levere sitt virke ved godkjent skogsbilvei til samme pris som for vassdragstømmer. I så fall spares de direkte transportomkostninger ved veitransporten frem til vassdrag. Man må imidlertid være forberedt på at denne begunstigelse av skogsbilveilevering kan komme til å falle bort. Har man muligheter for lønnsom tomtelevering, vil et bilveinett i mange tilfeller øke lønnsomheten av slik levering. Et bilveinett vil utvilsomt øke mulighetene for levering av godt betalt spesialvirke på kort varsel samt småvirke og avfallsvirke som tidligere ikke var drivverdig og samtidig minske risikoen for nedslag i pris ved overligget virke. Skogeieren kan også oppnå hurtigere måling og oppgjør og dermed minske sitt rentetap. De fleste av disse momenter er det forholdsvis enkelt å vurdere i kroner eller i kroner pr. m^3.

Fordelene for den primære og for den sekundære skogproduksjon er det langt vanskeligere å vurdere. Det kan nevnes at den tid som medgår til administrasjon av drift og kulturarbeider av forskjellig salg blir mer effektivt utnyttet og omkostningene til administrasjon dermed lavere. Adkomsten for personell blir lettere og gangtillegg og avsidestillegg kan

spares eller reduseres. Transport av kulturmateriell og utstyr for hogst og fremdrift blir rimeligere. Det vil også bli lettere å få utført etterarbeider og tynninger til rett tid. Hogst og fremdrift – spesielt av tynningsvirke kan i større utstrekning enn tidligere gjennomføres på bar mark. Omkostningene blir derved sannsynligvis noe lavere.

Det bør også undersøkes om en bilvei kan gi andre direkte økonomiske fordeler. Det kan således tenkes at det offentlige kan være interessert i å overta veien slik at vedlikeholdsomkostningene spares. I så fall må det trolig bygges en vei av forholdsvis høy standard. Det bør også undersøkes om det kan bli tale om erstatninger fra kraftselskaper for bruk av veien ved anlegg av kraftstasjoner eller ved reising av og ettersyn av kraftledninger. Slike erstatninger vil som oftest bli gitt som engangserstatninger. En bilvei kan også gi adgang til eventuelle grustak på eiendommen. I distrikter der veigrus er mangelvare, vil et grustak være et aktivum som kan gi store inntekter. Grusforekomster på eiendommen vil dessuten gi lavere omkostninger til grusing av veien. Det kan også være verdt å merke seg at et godt utbygget bilveinett vil minske faren for store skader ved skogbrann idet brannmannskaper og slukkingsutstyr raskt kan fraktes til åstedet.

Det kan være vanskelig å vurdere disse forskjellige «inntektspostene» Man kan imidlertid regne med at de representerer betydelige beløp – kanskje atskillig større beløp enn man har vært tilbøyelig til å anta.

3. Valg av transportretning og veiplasering i brattlendt terreng.

I det foregående er det forutsatt flatt terreng hvor maksimal transportdistanse («fågelvägen») i skog er halvparten av veiavstanden og brattlendt terreng hvor maksimal transportdistanse er lik veiavstanden. I brattlendt terreng vil i alminnelighet en del av virket bli drevet frem til den øvre veien og en del til den nedre veien. Hvor stor del av arealet mellom to parallelle veier i en li som bør drives til den øvre veien og hvor stor del av arealet som bør drives til den nedre veien forat de gjennomsnittlige transportomkostninger pr. m³ i skog skal bli minst mulig, kan beregnes på en forholdsvis enkel måte.

Avstanden mellom veiene kalles B, maksimal transportdistanse mot bakke l og med bakke følgelig $B - l$. Den gjennomsnittlige transportdistanse mot og med bakke blir da henholdsvis $\frac{l}{2}$ og $\frac{B - l}{2}$.

Omkostningsfunksjonene for transport mot og med bakke er henholdsvis $y_1 = a_1 + b_1 \cdot \frac{l}{2}$ og $y_2 = a_2 + b_2 \cdot \frac{B - l}{2}$.

Under forutsetning av at kubikkmassen, M er jevnt fordelt over arealet, fås den gjennomsnittlige transportomkostning pr. m³ i skog således:

$$K = \frac{\left(a_1 + \frac{b_1 \cdot l}{2}\right) \cdot \frac{l}{B} \cdot M + \left(a_2 + \frac{b_2 \cdot (B - l)}{2}\right) \cdot \frac{B - l}{B} \cdot M}{M}$$

Videre fås:

$$K = \frac{b_1 \cdot l^2}{2B} + \frac{b_2 \cdot l^2}{2B} + \frac{a_1 \cdot l}{B} - \frac{a_2 \cdot l}{B} - b_2 \cdot l + a_2 + \frac{b_2 \cdot B}{2}$$

Ved derivasjon fås:

$$K' = \frac{b_1 \cdot l}{B} + \frac{b_2 \cdot l}{B} + \frac{a_1}{B} - \frac{a_2}{B} - b_2$$

Da den andre diriverte alltid er positiv, har funksjonen et minimumspunkt for den verdi av l som gjør $K' = 0$, dvs.:

$$\frac{b_1 + b_2}{B} \cdot l = \frac{a_2 - a_1 + B \cdot b_2}{B} \text{ som gir}$$

$$l = \frac{a_2 - a_1 + B \cdot b_2}{b_1 + b_2}$$

Dersom man forutsetter at lunning, på- og avlessing for kjøring mot og med bakke koster like mye, dvs. $a_1 = a_2$, blir

$$l = \frac{b_2}{b_1 + b_2} \cdot B \text{ og derav } B - l = \frac{b_1}{b_1 + b_2} \cdot B$$

Er eksempelvis $b_1 = 2b_2$, blir $l = \frac{B}{3}$ og $B - l = \frac{2}{3} \cdot B$.

Middellunneveilengden, F, for området mellom to paralelle veier kan generelt uttrykkes ved funksjonen $F = \frac{l^2 + (B - l)^2}{2B}$ idet

$$F = \frac{\frac{l}{2} \cdot \frac{l}{B} \cdot M + \frac{(B - l)}{2} \cdot \frac{(B - l)}{B} \cdot M}{M}.$$

Ovenstående verdier for l og $B - l$ gir $F = \frac{\frac{B^2}{9} + \frac{4B^2}{9}}{2B} = 0{,}28\ B$

En liside er ofte så kort at det ikke er nødvendig eller økonomisk forsvarlig å bygge to parallelle veier. Problemet blir da: Hvor høyt oppe i lisiden skal veien ligge?

Løsningen blir nøyaktig den samme som i foregående eksempel. l er i dette tilfelle avstanden fra bunnen av lisiden eller driftsområdet opp til veien.

VI. Veistandard.

Ved beregningen av den gunstigste veiavstand er det i det foregående ikke tatt hensyn til at det er en viss sammenheng mellom anleggsomkostningene for en vei og dens standard og mellom veiens standard og underveisomkostningene for virkestransporten. Det er regnet med gjennomsnittlige anleggsomkostninger og underveisomkostninger idet det er antydet at det under de skiftende forhold i vårt land vil være meget vanskelig å finne noen sammenheng mellom anleggsomkostninger og veistandard. Det er videre påpekt at over de største delene av vårt land er beliggenheten av skogsveinettets hovedveier bestemt av terrenget. Disse hovedveier vil være hovedtransportårer for et bestemt transportområde. Transportkvantumet på hovedveiene vil derfor være forholdsvis fast og uavhengig av det øvrige veinetts utforming. Det skulle derfor ikke by på noen vanskeligheter å beregne den gunstigste standard på en hovedvei såfremt man i det aktuelle tilfelle kjenner sammenhengen mellom anleggsomkostninger og veistandard og mellom veistandard og underveisomkostninger.

Det er klart at for et bestemt terreng vil en veis standard stige med økende anleggsomkostninger. Økningen i anleggsomkostninger vil nemlig komme veien til gode ved bedring av veibane, stigningsforhold og kurvatur. Disse forhold vil føre til at underveisomkostningene avtar med stigende veistandard fordi transporthastigheten blir større samtidig som brukstiden for materiellet trolig blir noe lenger og vedlikeholdsomkostningene mindre.

For det praktiske skogbruk ville det utvilsomt ha vært en fordel om veistandarden hadde vært klassifisert i veiklasser og avtalene om virketransportene var stipulert på grunnlag av de faktiske, direkte transportomkostninger for de forskjellige veiklasser. Derved ville man få bort en stor del av det subjektive skjønn ved avtaler om f.eks. vanskelighetstillegg.

For en større skogeier som driver virkestransportene med egne transportmidler, vil denne vilkårlighet i overenskomsten angående virkestransportene ikke spille noen rolle. Han vil kunne regne med at de faktiske direkte og indirekte transportomkostninger varierer med veistandarden.

Beregninger av hvilken veistandard man bør foretrekke har vært utført på forskjellige måter. MATTHEWS (1942) og MATTSSON MÅRN (1942) klassifiserer veistandarden etter gjennomsnittshastigheten for lastbil. Den beregningsmåte Matthews og Mattsson Mårn anvendte, er vist i nedenstående eksempel. De omkostninger som det er regnet med i forrentning og vedlikehold er hypotetiske og det samme gjelder for de direkte underveisomkostninger.

Veistandarden er tenkt gradert fra 1 for vei av meget høy standard til 5 for vei av laveste standard. Veistandarden er klassifisert i 5 veiklasser. Veikl. I er vei av standard bedre enn 1,5, veikl. II vei av standard 1,5–2,5 osv. Da man i vårt land foreløpig ikke har gått til klassifisering av skogsveiene, har jeg ikke villet angi noen kjennetegn for de forskjellige veiklasser. Anleggsomkostningene for en vei av høy standard er imidlertid forutsatt å være høye, brukstiden lang og gjennomsnittshastigheten for lastebil forholdsvis stor. Anleggsomkostningene for en vei av laveste standard er lave, brukstiden kort og gjennomsnittshastigheten med lastebil liten. Underveisomkostningene for en vei av høy standard må derfor forutsettes å være lave i forhold til underveisomkostningene for en vei av lav standard. Det er videre antatt at vedlikeholdsomkostningene for en vei av høy standard er større enn for er vei av lav standard. Grunnen til dette er at veiens standard forutsettes å være tilpasset trafikkintensiteten. Slitasjeandelen av vedlikeholdsomkostninggene for en vei av høy standard, dvs. en sterkt trafikkert vei, må derfor forutsettes å bli større enn for en vei av lav standard, dvs. for en vei med lav trafikkintensitet. Sammenhørende verdier av veiklasser, (veikl.), veiomkostninger, $(v + r)$, og underveisomkostninger, (b_b), er satt opp i nedenstående tabell.

De verdier for underveisomkostninger på vei som det er regnet med i tabell 9, er beregnet av formelen $b_b = \frac{c}{h}$ (jfr. side 211). Gjennomsnittshastigheten for veiklassene er forsøksvis satt til 35 km pr. time for veikl. I, 30 km pr. time for veikl. II, 25 km pr. time for veikl. III, 20 km pr. time for veikl. IV og 15 km pr. time for veikl. V. De samlede omkostninger for transportaggregat med mannskap er forsøksvis satt til kr. 50 pr. time og lass-størrelsen til 16,7 m³. Dermed blir konstanten, $c = 6$ i ovennevnte formel. De funne verdier er regnet å gjelde for skogstørt virke.

De verdier som er ført opp som veiomkostninger for de respektive veiklasser er antatte verdier. Det er forutsatt at en økning i veistandarden fører til en sterkere økning i anleggsomkostningene.

Tabell 9.
Table 9.

Sammenhengende verdier av veiklasser, Veikl., veiomkostninger, v+r, og underveisomkostninger, b_b.
Corresponding values of road classes, Roadcl., road costs, v+r, and underway costs, b_b.

Veikl. *Roadcl.*	$v + r$ kr. pr. km *N. Kr. per kilometre*	b_b kr. pr. m³ pr. km *N. Kr. per cu.m per kilometre*
I	4 000	0,17
II	2 800	0,20
III	2 200	0,24
IV	1 840	0,30
V	1 690	0,40

Matthews og Mattsson Mårn har regnet ut grensekvantumet for overgang fra veikl. V til veikl. IV, osv. Idet det forutsettes at terminalomkostningene er uavhengige av veistandarden, kan grensekvantumet, Q, regnes ut av uttrykket:

$$Q = \frac{(v + r)_{IV} - (v + r)_V}{b_{bV} - b_{bIV}}$$

Nedenfor er grensekvantumet for overgang fra veikl. V til veikl. IV, osv. regnet ut for de verdier av veiomkostninger, $(v + r)$ og underveisomkostninger, (b_b) som er angitt i tabell 9.

$$Q_{V-IV} = \frac{1840 - 1690}{0{,}40 - 0{,}30} = 1\,500 \text{ m}^3$$

$$Q_{IV-III} = \frac{2200 - 1840}{0{,}30 - 0{,}24} = 6\,000 \text{ m}^3$$

$$Q_{III-II} = \frac{2800 - 2200}{0{,}24 - 0{,}20} = 15\,000 \text{ m}^3$$

$$Q_{II-I} = \frac{4000 - 2800}{0{,}20 - 0{,}17} = 40\,000 \text{ m}^3$$

Hvis man oppfatter tallene for veiomkostninger og underveisomkostninger i tabell 9 som gjennomsnittsverdier for de respektive veiklasser, kommer man frem til nedenstående sammenheng mellom transportkvantum og veiklasser: (se tabell 10.)

Beregningsmåten forutsetter sprangvise endringer i veiomkostninger og underveisomkostninger. Metoden kan derfor ikke anvendes om man

Tabell 10.
Table 10.

Sammenhørende verdier av veiklasser og transportkvantum under de forutsetninger som er gitt i tabell 9.
Corresponding values of road classes and quantity hauled on the assumptions given in table 9.

Veiklasse *Road class*	Transportkvantum *Quantity hauled*
I	> 40 000
II	15 000 — 40 000
III	6 000 — 15 000
IV	1 500 — 6 000
V	< 1 500

ønsker å finne frem til den gunstigste veistandard, dvs. den veistandard som gir de laveste samlede transportomkostninger for et bestemt transportkvantum.

Det er rimelig å anta at man innenfor de aktuelle grenser for standard på skogsbilveier vil kunne uttrykke veistandarden som en funksjon av anleggsomkostningene eller eventuelt av de årlige veiomkostninger. Derav følger at man kan uttrykke de årlige veiomkostninger som en funksjon av veistandarden. Konstantene i funksjonen vil endres når anleggsomkostningene endres. Man vil altså få forskjellige funksjoner for de forskjellige terrengtyper.

Når det gjelder underveisomkostningene, skulle det imidlertid la seg gjøre å finne frem til én bestemt funksjon som beskriver forholdet mellom veistandard og underveisomkostninger for de lastebiltyper som er mest anvendt til virketransporter i skogbruket.

De samlede transportomkostninger kan derved uttrykkes som en sum av to funksjoner av samme variable. I overensstemmelse med det resonnement som er ført ved beregningen av den gunstigste veiavstand, må den gunstigste veistandard være den som gir de laveste samlede transportomkostninger på veien. Problemet kan derfor løses ved en minimumsbetraktning av funksjonen for de samlede transportomkostninger på veien såfremt funksjonsforholdet mellom veistandard og årlige veiomkostninger og mellom veistandard og underveisomkostninger er kjent for det aktuelle tilfelle.

Sundberg (1953) har foretatt en beregning på dette grunnlag under sterkt forenklede forutsetninger. Han har forutsatt at sammenhengen mellom anleggsomkostningene for en vei og veistandarden kan uttrykkes ved en lineær funksjon. Underveisomkostningene er uttrykt ved en funksjon av typen $y = \frac{a}{x}$. Den siste funksjon fremstiller en hyperbel.

Sundberg har antatt at de samlede omkostninger pr. time for transportaggregat og mannskap er tilnærmet konstant. Man kan da regne ut underveisomkostningene pr. m³ pr. km av følgende formel:

$$b_b = \frac{t}{\frac{h}{2} \cdot q} \text{ der}$$

t = omkostningene pr. time
h = gjennomsnittshastigheten for lass- og tomkjøring
q = lass-størrelsen i m³

Uttrykket kan skrives $b_b = \frac{\frac{2t}{q}}{h}$

Regner man med at lass-størrelsen er konstant, dvs. at vei av laveste standard kan trafikeres av lastebil med fullt lass, kan $\frac{2t}{q}$ oppfattes som en konstant, c, hvorved man kommer frem til uttrykket $b_b = \frac{c}{h}$.

Fryjordet (1955) har funnet frem til en løsning som fører til samme resultat som Sundbergs beregninger. Fryjordet går ut fra betingelsen forat et veianlegg skal være lønnsomt. Betingelsen for lønnsomhet har han formulert i følgende uttrykk:

$$S \cdot \frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n} \geqq A + V \cdot \frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n}, \text{ dvs.}$$

kapitalverdien av alle fremtidige inntekter må være minst like store som summen av anleggsomkostningene for veien og kapitalverdien av de fremtidige årlige vedlikeholdsomkostninger idet

S = årlig inntekt av veien
A = anleggsomkostningene for veien
V = årlige vedlikeholdsomkostninger
n = veiens brukstid i år
p = rentefoten i % p.a.

Fryjordet kaller kapitaliseringsfaktoren $\frac{1{,}0p^n - 1}{0{,}0p \cdot 1{,}0p^n}$ k, differensen mellom inntekts- og omkostningsleddet d og får:

$$d = k \cdot (S - V) - A \geqq 0$$

Fryjordet setter videre $S - V = N$ (årlig nettoinntekt av veien) og betrakter N som en funksjon av A, altså:

$$d = k \cdot N - A$$

Ved en maksimumsbetraktning av funksjonen finnes den verdi av A som gjør d størst mulig. Maksimumsbetraktningen foretas enkelt ved derivasjon.

$$d'_A = k \cdot N'_A - 1$$

Maksimum for d inntreffer når $d'_A = 0$ såfremt $d''_A < 0$. Da den siste betingelse i alminnelighet oppfylles, vil maksimum for d foreligge når $N'_A = \frac{1}{k}$, dvs. når økningen i nettoinntekter pr. enhet av anleggsomkostningene ved varierende A er lik $\frac{1}{k}$. Uttrykket $\frac{1}{k}$ er det samme som amortiseringsfaktoren og finnes i tabell 1.

Hvis man kjenner sammenhengende verdier av anleggsomkostninger, vedlikeholdsomkostninger samt underveisomkostninger for veier innen et forholdsvis ensartet område, kan man finne den gunstigste veistandard grafisk idet man tegner kurven N'_A og går inn på kurven for verdien $N'_A = \frac{1}{k}$.

Det er ovenfor nevnt at de samlede transportomkostninger på vei kan uttrykkes som en sum av to funksjoner av samme variable. Det er videre nevnt at den gunstigste veistandard er den som gir de laveste samlede transportomkostninger på veien. Problemet kan derfor løses grafisk ved summering av de to kurver som fremstiller funksjonsforholdet mellom veistandard og underveisomkostninger og mellom veistandard og årlige veiomkostninger. Den gunstigste veistandard er den hvorved kurven for de samlede transportomkostninger har sitt minimumspunkt. Den grafiske løsning for et transportkvantum på 6000 m³ er vist i fig. 10. Det er regnet med de verdier for underveisomkostninger og årlige veiomkostninger som er angitt i tabell 9.

Når veiomkostninger og underveisomkostninger er som angitt i tabell 9, viser beregningen at det kreves til dels store transportkvanta forat det skal være lønnsomt å anlegge en vei av høy standard. Veistandard 2 vil f.eks. være den lønnsomste veistandard for et transportkvantum på 25 000 m³ mens veistandard 1 vil kreve et transportkvantum på ca. 60 000 m³. For transportkvanta under 6000 m³ vil bare veikl. IV og V

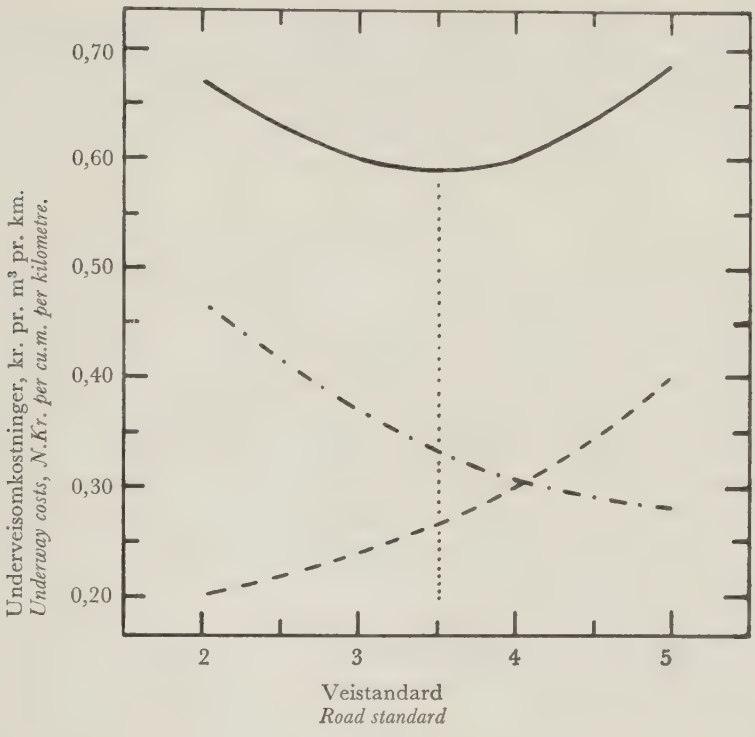


Fig 10.

Beregning av den gunstigste veistandard for et transportkvantum på 6000 m³ under de forutsetninger som er gitt i tabell 9. *Estimation of optimum road standard for a transport quantity of 6000 cu.m. on the assumptions given in table 9.*
– – – – Underveisomkostninger. *Underway costs.*
–·–·–·– Veiomkostninger. *Road costs.*
Den heltrukne kurve fremstiller summen av de to andre kurver. *The solid curve represents the total of the two other curves.*

være aktuelle og for transportkvanta under ca. 1500 m³ vil det neppe være lønnsomt å anlegge en vei av høyere standard enn veikl. V. Det er således bare for skogbrukets sterkt trafikerte hovedveier det vil være av betydning å beregne den lønnsomste veistandard. De mindre trafikerte sideveier bør neppe være av høyere standard enn V–IV.

I avsnittet om beregning av den gunstigste veiavstand for sideveier innen et skogområde er det ikke regnet med standardtilpasset vei, dvs. det er ikke regnet med at veistandarden skal tilpasses trafikkintensiteten. Av det foranstående vil det sees at den feil man gjør ved å regne med de gjennomsnittlige anleggsomkostninger for sideveier innen området er ubetydelige så lenge man er klar over at et lite transportkvantum bare kan forrente en vei av lav standard.

Dessverre finnes det i vårt land ingen undersøkelser over sammenhengen mellom veistandard og anleggsomkostninger og mellom veistandard og underveisomkostninger. Foranstående må derfor bare oppfattes som et forsøk på å vise hvordan slike beregninger kan utføres.

VII. Sammendrag

På grunn av den sterke tekniske utvikling i den senere tid og de gode økonomiske kår, gjennomgår skogbruket en rivende utvikling. De gamle vante driftsmåter er i ferd med å bli radikalt endret.

Den utstrakte motorisering av fremdriften har ført til at det i langt sterker grad enn tidligere er nødvendig med sammenlignende kalkyler for å finne frem til de driftsmidler som er de gunstigste under de rådende forhold. Det er driftsøkonomiens oppgave å finne frem til den kombinasjon av driftsmidler som gir de lavest mulige driftsutgifter og dermed også de høyest mulige nettoinntekter pr. m^3 salgsvirke.

I dette arbeide er en del av de problemer som har betydning for skogsveienes økonomi tatt opp til drøftelse.

Den første betingelse for at man skal kunne oppnå et riktig resultat av transportøkonomiske kalkyler er at omkostningenes fordeling er korrekt. De transportøkonomiske beregninger må derfor bygge på en grundig analyse av transportomkostningene. Det er nødvendig at de omkostningsfunksjoner man kommer frem til og benytter under beregningene viser hva de enkelte deloperasjoner i de forskjellige transportfaser koster. Dette er også nødvendig når man driver forsøksvirksomhet i den hensikt å rasjonalisere fremdriften eller forbedre de tekniske hjelpemidler man anvender.

Kapitel II gir en kort oversikt over skogbrukets og spesielt transportenes omkostningsteori. Jeg har valgt å benytte den fordelingsmåte og den terminologi som er lansert av Ulf Sundberg i «Studier i skogbrukets transporter» (1953).

I kapitel II, punkt 2 er det gitt nærmere omtale av de omkostningsfunksjoner som er anvendt ved de senere beregninger. Det er vist hvordan funksjonene kan bygges opp på grunnlag av de til enhver tid gjeldende akkordsatser. Omkostningsfunksjonene kan også bygges opp på grunnlag av arbeidsstudier. Samset (1956).

I kapitel III er det utviklet en formel for beregning av veiavstanden. Det er gått ut fra at man bør søke den veiavstand som gir de lavest mulige samlede transportomkostninger. Den søkte veiavstand lar seg finne om man ved hjelp av derivasjon foretar en minimusbetraktning av funksjonen

for de gjennomsnittlige transportomkostninger fra et skogområde. Veiavstanden i flatt terreng viser seg å kunne uttrykkes ved formelen

$$B = \sqrt{\frac{4\,(v + r)}{M \cdot b_h}}$$

B = veiavstand i km
v = vedlikeholdsomkostninger i kr. pr. km
r = renter og avskrivninger av veiens anleggsomkostninger i kr. pr. km
M = gjennomsnittlig avvirkning i m^3 pr. km^2
b_h = underveisomkostninger i skog i kr. pr. m^3 pr. km

Settes $b_h = 1$, kan veiavstanden finnes for varierende verdier av $v + r$ og M. (Tabell 2). Den av tabell 2 funne verdi for B må korrigeres med uttrykket $\sqrt{\frac{1}{b_h}}$, der b_h er de underveisomkostninger i skog som man i det aktuelle tilfelle må regne med. Verdien av uttrykket $\sqrt{\frac{1}{b_h}}$ for forskjellige verdier av b_h finnes i tabell 3.

Formelen forutsetter ideelle forhold. De av tabellene 2 og 3 funne verdier for ideell veiavstand må derfor korrigeres. Tabellene 5, 6, og 7 gir korreksjonsfaktorer for forskjellige forhold.

I kapitel IV er det gitt eksempler på anvendelse av formel og tabeller til beregning av veiavstanden.

Formelutviklingen viser at de samlede transportomkostninger blir minst når veiomkostningene pr. km pr. m^3 er like store som de gjennomsnittlige underveisomkostninger pr m^3 i skog. Uttrykket $\frac{b_h}{4} = \frac{v + r}{M \cdot B^2}$ kan nemlig skrives $b_h \cdot \frac{B}{4} = \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$ der $M \cdot B \cdot L$ er det virkeskvantum som drives til veistrekningen L. Dette viser at man kan finne den gunstigste veiavstand grafisk. Betrakter man den grafiske fremstilling av veiomkostningene pr. km pr. m^3 og den grafiske fremstilling av underveisomkostningene i skog, vil man få de minste samlede transportomkostninger ved den veiavstand som svarer til skjæringspunktet for de to kurver. Fig. 8 viser den grafiske løsning under de forutsetninger som er gitt i kapitel IV, 2.

I kapitel V er vist hvordan funksjonen for de samlede transportomkostninger kan anvendes til løsning av andre spesielle oppgaver.

Kapitel V, 1 viser hvordan funksjonen kan anvendes ved sammenligning av transport med forskjellige transportmidler på forskjellige transportbaner. I eksempelet er transport med traktor på traktorvei sammenlignet med transport med lastebil på bilvei. I samme forbindelse er det gitt eksempler på beregning av grenseveilengder, grensekvantum og grenseomkostninger for forskjellige transportmidler og transportbaner.

I kapitel V, 2 er gjennomført en teoretisk planlegging av adkomstvei til og veinett innen et større skogområde.

Det er i eksemplene bare regnet med de direkte og de indirekte transportomkostninger. Det er imidlertid også andre momenter som kan ha avgjørende betydning for valget av den ene eller den andre transportbane. Det er i kapitel V trukket frem en rekke momenter som bør tillegges vekt ved valg av transportbane og transportmiddel.

I kapitel V, 3 er det foretatt en beregning av den gunstigste transportretning til to parallelle veier i en liside samt en beregning av veiplasering i brattlendt terreng.

Kapitel VI omhandler veistandard.

For et bestemt terreng vil en veis standard stige med økende anleggsomkostninger. Økningen i anleggsomkostninger vil nemlig komme veien til gode ved bedring av veibane, stigningsforhold og kurvatur. Disse forhold fører til at underveisomkostningene avtar med stigendev eistandard.

Beregninger av hvilken veistandard man bør foretrekke har vært utført på forskjellige måter av bl.a. Matthews (1942), Mattsson Mårn (1942), Sundberg (1953), og Fryjordet (1955).

Matthews' og Mattsson Mårns beregningsmåte forutsetter at veistandarden er klassifisert i veiklasser. Regnes det med 5 veiklasser, kan grensekvantumet for overgang fra én veiklasse til en høyere beregnes av uttrykket

$$Q = \frac{(v + r)_{IV} - (v + r)_V}{b_{bV} - b_{bIV}}$$

For å få gjennomført et beregningseksempel har jeg i tabell 9 satt opp sammenhørende verdier av veiklasser, (veikl.), veiomkostninger, $(v + r)$ og underveisomkostninger, (b_b). Oppfattes disse verdier som gjennomsnittsverdier for de respektive veiklasser, kommer man frem til den sammenheng mellom veiklasser og transportkvantum som er vist i tabell 10.

Det er rimelig å anta at man innenfor de aktuelle grenser for standard på skogsbilveier vil kunne uttrykke veistandarden som en funksjon av anleggsomkostningene eller eventuelt av de årlige veiomkostninger. Konstantene i funksjonen vil endres når terrengvanskelighetene forandres.

Underveisomkostningene bør imidlertid kunne uttrykkes ved én bestemt funksjon.

De samlede transportomkostninger kan derved uttrykkes som en sum av to funksjoner av samme variable. Den gunstigste veistandard må derfor kunne beregnes ved en minimumsbetraktning av denne funksjon. Sundberg (1953) har foretatt en beregning på dette grunnlag.

Fryjordet (1955) har funnet frem til en løsning som fører til samme resultat som Sundbergs beregninger.

Det er i siste del av kapitel VI vist hvordan man kan finne den gunstigste veistandard grafisk. De to kurver som fremstiller sammenhengen mellom veistandard og underveisomkostninger og mellom veistandard og veiomkostninger summeres. Den gunstigste veistandard er den hvorved kurven for de samlede transportomkostninger på veien har sitt minimumspunkt. Den grafiske løsning for et transportkvantum på 6000 m³ er vist i fig. 10.

Når veiomkostninger og underveisomkostninger er som angitt i tabell 9, viser beregningen at det kreves til dels store transportkvanta forat det skal være lønnsomt å anlegge en vei av høy standard. For transportkvanta under 6000 m³ vil bare veiklasse IV og V være aktuelle. Det er således bare for skogbrukets sterkt trafikerte hovedveier det vil være av interesse å beregne den lønnsomste veistandard. De mindre trafikerte sideveier bør neppe være av høyere standard enn V–IV.

Litteratur

Danell, Claes (1939): Undersökning rörande den rationella tätheten hos et bilvägnät för transport av skogsprodukter på syd- och mellansvenska skogsbruk. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift.

Eide, Erling og Langsæter, A. (1941): Produksjonsundersøkelser i granskog. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen nr. 26. Oslo.

Fryjordet, Torgeir (1955): Forelesninger i driftsøkonomi ved driftstekniske kurs i skogbruket. Oslo. Stensil.

Institutt for Jordskifte og Eiendomsutforming (1957): Melding nr. 1. Innmarks- og skogsveger og vegnett ved eiendomsutforming. Vollebekk.

Jørgensen, Frits (1953): Skovproduktionens økonomiske Afhengighed af Træindustriens tekniske Krav. Vollebekk. Stensil.

— (1955): Skogbrukets kostnadsteori. Forelesningsnotater ved N.L.H. Vollebekk. Stensil.

Langsæter, A. (1948): Forelesninger i skogøkonomi, del 1. Vollebekk. Stensil.

Larsson, Gerhard (1956): Studier rörande skogsvägplanering. Meddelande från Institut för fastighetsteknik, Kungl. Tekn. Högskolan. Stockholm.

Matthews, Donald Maxwell (1942): Cost control in the logging industry. American forestry series. New York.

Mattsson Mårn, L. (1927): Skogsekonomiska studier. Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift.

— (1942): Lastbilen i skogstransport och bilvägarna. Industriens utredningsinstitut. Norrlandsutredningen. Stockholm.

Norsk Lovtidend, 2. avdeling (1952, 4. hefte): Lov om endringer i skattelov for landet av 18. august 1911.

Norsk Standard, 437 (1951): Terminologi for industrielle og lignende kostnadsberegninger m.v. Oslo.

Samset, Ivar (1946): Den økonomisk «riktige» trasé av en skogsbilveg. Beregning foretatt for Rasjonaliseringsnemnda i Skogbruket. Vollebekk. Stensil.

— (1956): Tømmertransport med hest og traktor på snepakkete veier. Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen nr. 47. Vollebekk.

von Segebaden, G. (1957): Sambandet mellan tilltransportavstånd och vägtäthet. Stockholm. Stensil.

Soom, E. (1950): Rückaufwand und Wegabstand. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen.

Statens Offentliga Utredningar (1945 : 5): Principer och metoder för kostnadsberekningar vid Statens Järnvägar. Stockholm.

Sundberg, U. (1949): Terminalproblem vid motortransport av virke. Svenska Skogvårdsföreningens Tidskrift.

— (1953): Studier i skogsbrukets transporter. Föreningen Skogsarbetens och Kungl. Domänstyrelsens Arbetsstudieavdelning. Meddelande n:r. 48. Stockholm.

Volkert, E. (1956): Die Bringungsteknik als gemeinsames Problem von Forst- und Holzwirtschaft. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen. Band 16. Frankfurt am Main.

Studies in the economics of timber transportations

Owing to the great, technical development i Norwegian forestry in recent years and its good financial position, it is today undergoing a very rapid expansion. Old logging practices are being radically altered.

As a result of the widespread mechanization of the timber transport, the necessity of employing comparative calculations in order to find the logging methods that are most suitable under existing conditions, has greatly increased. It is the responsibility of the economics of forest transportation to find a combination of logging methods, that will give the lowest possible costs, and consequently the highest possible net receipts per cu.m. of timber.

The present work deals with some problems of consequence for the economics of the forest roads.

A correct distribution of costs is the first requisite for obtaining correct results from the calculations of the economics of timber transportation. The calculation should, therefore, be based on a thorough analysis of the total transport costs. It is necessary that the cost functions that have been found, and are being used under the calculations show how much the elements of the different stages of transport costs. This is also required in experiments aiming at the rationalization of the timber transportation, or improvements on the technical equipment employed.

A short review of the cost theory of forestry, an especially that of timber transportation, is given in Chapter II. I have preferred to use the method of distribution and the terminology launched by Ulf Sundberg in his work „A study of timber transportation." (1953). Accordingly, the total transport costs have been divided into direct and indirect hauling costs.

Costs stemming directly from the hauling of a given quantity of timber are direct hauling costs. Cost due to depreciation, payment of interest on and maitenance of transport equipment and transport roads, are indirect hauling costs.

The direct hauling costs have been subdivided into direct terminal costs and direct underway costs (costs per kilometre). The direct terminal costs are those connected with the loading and unloading of the timber. The direct underway costs are those arising under the actual transport of the timber, they are in some way or other determined by the hauling distance.

The same division can be used for the indirect hauling costs.

In Chapter II, Item 2, the cost functions employed in the subsequent calculations are discussed more fully.

It has been mentioned above that the direct hauling costs can be divided into terminal costs and underway costs. This indicates that the specific, direct hauling costs may be expressed by means of a function of the type $K = a + b.L$ where a is the specific, direct terminal costs in N.Kr. per cu.m., b, the specific, direct underway costs in N.Kr. per cu.m., and L the hauling distance in kilometres. It is shown how the function can be built up on the basis of the piece-work wages in force at any time. The cost function can also be built up on the basis of work studies. Samset (1956).

The indirect hauling costs dealt with in the present work are maintenance costs for the roads, as well as interest on and depreciation of initial costs. From what has been said above, road costs should be regarded as indirect underway costs. I have not found it expedient, however, to distribute the road costs in the same way as I distributet the direct underway costs. I have considered it most practical to express the specific road costs by the function $K = \frac{v + r}{Q}$, where v is annual maintenance costs in N.Kr. per km (kilometre), r, annual interest and depreciation in N.Kr. per km, and Q, annual average quantity hauled.

In Chapter III, a formula is given for the calculation of road spacing. It has been assumed that the road spacing giving the lowest, total transport costs should be sought. The total transport costs may be expressed as

the sum of simple functions. If the hauling takes place in forest terrain, by horse – horse skidding – and is continued by truck on truck road, the average, total transport costs, up to the main road, may be expressed by the function:

$$K = a_h + b_h \cdot \frac{B}{4} + a_b + b_b \cdot \frac{L}{2} + \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$$

on the assumption that the road system consists of a main road and parallel side roads, and that the timber is skidded the shortest distance from stump to road. (Figure 3).

In this function, $a_h + b_h \cdot \frac{B}{4}$ represents the average, specific, direct skidding costs; $a_b + b_b \cdot \frac{L}{2}$ the average, specific, direct hauling costs under the road transport; and $\frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$ the average, specific road costs. Since L is the length of the side road in km, B, the road spacing in km, and M, the average, annual quantity hauled per sq.km., $M \cdot B \cdot L$ represents the quantity of timber hauled over distance L.

The road spacing sought for can be found, if the minimum of the function for the averege total transport costs from the forest area, is calculated by derivation.

It appears that the road spacing in even terrain can be expressed by the formula:

$$B = \sqrt{\frac{4\,(v + r)}{M \cdot b_h}}$$

In this formula, b_h is the direct underway costs in forest terrain in N. Kr. per cu.m. per km. The remaining factors are the same as above.

If b_h equals N.Kr. 1.—, the road spacing can be found for varying values of $v + r$, and M. (Table 2). The value of B, given by Table 2, has to be corrected by $\sqrt{\frac{1}{b_h}}$, where b_h represents the underway costs in forest terrain to be taken into account in the case in point. The value of $\sqrt{\frac{1}{b_h}}$ for the current values of b_h, will be seen from Table 3.

This formula presupposes ideal conditions. The values for ideal road

spacing derived from Tables 2 and 3, will therefore have to be corrected. Tables 5, 6, and 7 give corrections for different conditions.

Examples are given in Chapter IV of the use of the formula and the tables in the calculation of road spacing.

The development of the formula shows that the total transport costs will be at a minimum when the road costs per km per cu.m. equal the average underway costs per cu.m. in forest terrain. The fact is that $\frac{b_h}{4} = \frac{v + r}{M \cdot B \cdot B}$ may be written $b_h \cdot \frac{B}{4} = \frac{(v + r) \cdot L}{M \cdot B \cdot L}$, where $M \cdot B \cdot L$ is the timber quantity hauled to road distance L. From this it will be seen that the optimum road spacing may be found by graphs. If we look at the graphs for the road costs per km per cu.m. and those for the underway costs in forest terrain, the road spacing corresponding to the intersection point of the two curves will give the lowest, total transport costs. Figure 8 shows the graphic solution, on the assumptions given in Chapter IV, Item 2.

How the total transport cost function may be used to solve other special problems, is shown in Chapter V.

Chapter V, Item 1, shows how the function may be used in comparisons of hauling by different means of transportation, on different transport roads. In this example, tractor hauling on tractor road, is compared with truck hauling on truck road. In this connection, examples are given of calculations of break-even quantity, break-even distance, and break-even costs, for different means of transportation, and different transport roads.

Chapter V, Item 2, shows a theoretical planning of a road to a large forest area, and of a road system within this area.

These examples deal only with the total transport costs. However, there are also other factors that may be of consequence for the choice of transport road. A number of factors to which much attention should be paid, are pointed out in Chapter V.

A calculation of the optimum direction of transport, to two parallel roads on a hillside, and a calculation of the most favourable situation of the road in steep terrain, are given in Chapter V, Item 3.

Chapter VI deals with road standards.

In the calculation of the optimum road spacing in the preceding chapters, no attention was paid to the fact that a certain relationship exists between the initial costs of a road an its standard, and between the road standard and the underway costs of the timber hauling. It is indicated that under the widely varying conditions of this country, it would be very difficult to find a given relationship between the initial costs of a road and its standard. The situation of the main road within a forest road system

is large parts of this country determined by the terrain. The quantity hauled on these main roads will be comparatively constant, and independent of the rest of the road system. Therefore, a calculation of the optimum road standard for a given main road should hardly present unsurmountable difficulties.

It is obvious that in a given terrain, the standard of a road will increase with increasing initial costs. The fact is that the increase in initial costs will benefit the road, improving roadway, gradient, and curvature. This will in turn lead to the underway costs' decreasing with increasing road standard.

In practical forestry it would undoubtedly have been of advantage if the road standard had been divided into road classes, and the agreements for the timber hauling stipulated on the basis of the actual, direct hauling costs for the different road classes.

The calculations of the optimum road standard have been carried out by different methods, by MATTHEWS (1942), MATTSSON MÅRN (1942), SUNDBERG (1953), and FRYJORDET (1955) among others.

The calculation methods employed by Matthews and Mattsson Mårn presuppose a road standard divided into road classes. On the assumption that the terminal costs are independent of the road standard, the break-even quantity, Q, can be calculated by the equation

$$Q = \frac{(v + r)_{IV} - (v + r)_V}{b_{bV} - b_{bIV}}.$$

To give an illustration of the calculations, the author has in Table 9 set up corresponding values of road classes (road cl.), road costs $(v + r)$, and underway costs (b_b). If these values are taken as mean values of the respective classes, the correlation found between road classes and quantity hauled, will be the same as that given in Table 10.

There is good reason to suppose that, within the current limits of forest road standards, the road standard may be expressed as a function of the initial costs, or possibly of the annual road costs. The constants of the function will change when the terrain obstacles undergo changes. It should be possible, however, to express the underway costs by a given function.

In this way the total transport costs can be expressed as the sum of two functions of the same variable. It should, therefore, be possible to calculate the optimum road standard by calculating the minimum of this function. SUNDBERG (1953) has carried out a calculation on this basis.

FRYJORDET (1955) has found a solution giving the same results as Sundberg's calculations.

How to find the optimum road standard by graphs is shown in the last part of Chapter VI. The two graphs representing the relationship between road standard and road costs, and between road standard and underway costs, have been summed up. The road standard at which the curve for the total transport costs on the road is at its minimum, is the optimum road standard. The graphic solution, for a hauled quantity of 6000 cu.m., is shown in Figure 10. With road costs and underway costs as indicated in Table 9, the calculation shows that large quantities are required to make a road of high standard profitable. For quantities under 6000 cu.m. only road classes IV and V can be regarded as remunerative. Thus, a calculation of the most profitable standard will be of interest only in connection with the main forest roads. The standard of the side roads should hardly exceed classes V–IV.

In the section dealing with calculations of the optimum road spacing for side roads within a forest area, no allowance has been made for an adaption of road standard to volume of traffic. From the above it will be seen that the error made by calculating with average initial costs for side roads within the area, may be ignored, as long as it is clearly understood that a small quantity can pay interest on a road of low standard only.

TRYKT HOS J. CHR. GUNDERSEN
OSLO 1960